

Pilný nosič informace (3)

K přenosu dat v počítačových sítích se obvykle používají elektrické signály, byť se v současné době stále častěji setkáváme s kabely optickými, kdy jako prostředek pro přenos dat slouží světelný paprsek, či s bezdrátovým datovým přenosem, který využívá podobně jako rádio či televize schopností elektromagnetických vln přenášet informace. Zabývejme se tedy nejdříve přenosem prostřednictvím elektrických signálů, a později si zkusme základní principy zobecnit i na další případy.

Z fyziky víme, že elektrický proud je uspořádaný pohyb částic zvaných elektrony využívající skutečnosti, že v některých materiálech nazývaných vodiče či polovodiče nejsou elektrony pevně vázány na jádra atomů, ale mohou se volně pohybovat. K přemístění elektronu z místa na místo je třeba vykonat stejně jako při přemísťování závaží práci. Práci, která se přemísťováním elektronů vykonává, charakterizuje napětí dané rozdílem potenciálů, tj. množstvím elektronů, v místech, která vodič propojuje. Zatímco síla elektrického proudu se měří v ampérech (A), jednotkou napětí jsou volty (V). Každý vodič klade průchodu elektrického proudu určitý odpor. Odpor se měří v ohmech (Ω). Je zřejmé, že čím větší je odpor, tím je, při zachování stejného napětí, menší i proud, a naopak, při zvyšování napětí proud při stejném odporu poroste. Tuto závislost vyjadřuje všeobecně známý Ohmův zákon. Teče-li elektrický proud pouze jedním směrem, hovoříme proudu stejnosměrném, mění-li se periodicky jeho směr, hovoříme o proudu střídavém. Běžně používaný střídavý proud se vytváří otáčením smyčky z vodivého materiálu v magnetickém poli, a jeho časový průběh má proto tvar sinusoidy, viz obr. 1. Střídavý proud charakterizuje jeho rozkmit (amplituda) a perioda, tj. doba trvání jednoho kmitu. Převrácenou hodnotou periody je pak počet kmitů za jednotku času, tj. kmitočet. Měří se v hertzích (Hz).

Nese-li elektrický proud informaci, nazýváme jej signálem. V případě, že má sinusový průběh, označujeme jej jako signál harmonický. Číslíková zařízení však používají tzv. číslicové či digitální signály. Vyznačují se tím, že jejich velikost, amplituda, se nemění spojitě, nýbrž skokem a může nabývat dvou či více konstantních, tzv. diskretních hodnot, viz obr. 2. Nejčastějším případem digitálního signálu je tzv. binární signál, který nabývá pouze dvou diskretních hodnot, bitů 0 a 1, reprezentovaných obvykle dvěma různými úrovněmi elektrického napětí, viz obr. 3.

Teorie však říká, že každý digitální signál může být rozložen na nekonečný počet harmonických signálů s různými amplitudami, viz obr. 4. Přenos digitálních signálů tak může být chápán jako současný přenos nekonečného množství signálů harmonických.

Rušivé vlivy

K zvláštním případům elektrických signálů patří tzv. šumy. Příčinou vzniku šumu mohou být jiné elektrické procesy probíhající buď v samotném přenosovém systému, nebo přenesené či navozené z vnějšího prostředí. K první skupině mohou patřit například tepelné šumy vznikající v aktivních i pasivních prvcích systému, k druhé ruchy způsobené elektrostatickými nebo atmosférickými výboji, nebo signály indukované z jiných elektrických či přenosových systémů, točivými stroji nebo indukčními pecemi počínaje a blízkými datovými kabely či vedeními konče. Šum je náhodný proces, jenž se sčítá s užitečným signálem. Přítomnost šumu může vést k chybám v rozpoznávání hodnot užitečného signálu, a tudíž k chybám při přenosu dat. Situaci ilustruje příklad na obr. 5. K vyhodnocování binárního signálu se používá tzv. rozhodovací úroveň, tj. porovnávání s velikostí signálu s napětím ležícím mezi oběma úrovněmi. Přesahuje-li úroveň signálu rozhodovací úroveň, předpokládá se, že signál měl hodnotu odpovídající například hodnotě 0, v opačném případě se předpokládá úroveň 1. V přítomnosti šumu pak může docházet k chybám vyhodnocení.

Vodiče a kabely

K přenosu elektrických signálů se používají vodiče. Soustavy různě uspořádaných vodičů se nazývají kabely. Svineme-li vodič do smyčky, vznikne cívka. Základní charakteristikou cívky je pak její indukčnost, což je, zjednodušeně řečeno, schopnost vytvářet na svých koncích elektrické napětí působící proti protékajícímu proudu, mění-li se intenzita proudu protékajícího cívku. Cívka (indukčnost) tak brání průchodu střídavého elektrického proudu, a to tím více, čím vyšší je jeho kmitočet. Jednotkou indukčnosti je henry (H). Rovný vodič můžeme považovat za cívku o

nekonečném poloměru.

Dva vodiče oddělené nevodičem tvoří kondenzátor. Základní vlastností kondenzátoru je pojmout elektrický náboj čili, velmi zjednodušeně, uchovávat v sobě elektřinu. Čím větší množství náboje je schopen kondenzátor pojmout, tím větší je jeho kapacita. Kapacita se měří ve faradech (F). Vzhledem k tomu, že kondenzátor tvoří vodiče oddělené nevodičem, stejnosměrný proud jím nemůže procházet vůbec. Střídavý proud kondenzátorem prochází, a to na rozdíl od cívky tím lépe, čím je jeho kmitočet vyšší.

Představme si nyní datový kabel tvořený dvěma vodiči položenými vedle sebe. Typickým příkladem takového kabelu může být např. dvojlinka, která se ještě nedávno používala jako anténní svod televizního signálu. Oba dva vodiče umístěné vedle sebe tvoří kondenzátor, každý vodič pak má svoji vlastní indukčnost a samozřejmě odpor. Schematicky si můžeme kabel představit tak, jak je naznačeno na obr. 6. Z uvedeného plyne, že stejnosměrnému proudu klade kabel odpor rovný vlastním odporům jednotlivých vodičů, střídavému proudu potom odpor daný indukčností vodičů a velikostí zkratu mezi vodiči tvořenými odpory zdánlivých kondenzátorů, které oba vodiče propojují. Se zvyšováním kmitočtu pak indukčnosti stále více brání průchodu signálu a současně kondenzátory stále více zkratují oba vodiče. S růstem kmitočtu signálu se pak jeho přenos kabelem zhoršuje a množství signálu přeneseného kabelem klesá. Závislost množství kabelem přeneseného signálu na jeho kmitočtu nazýváme přenosovou charakteristikou kabelu, viz obr. 6c. Velikost zeslabení signálu při průchodu kabelem charakterizuje tzv. útlum. Měří se v decibelech (dB) a je definován jako poměr amplitudy signálu na vstupním a výstupním konci kabelu. (Přesněji jako logaritmus tohoto poměru.) Čím větší je útlum, tím více se signál při průchodu kabelem zeslabuje. Útlum je proto jedním z důležitých faktorů, které mimo jiné limitují rozsah počítačové sítě. Je zřejmé, že přenosová charakteristika a útlum jsou vzájemně vázané hodnoty. Kmitočet, při němž útlum dosáhne určité hodnoty, např. dvojnásobku oproti počáteční hodnotě, charakterizuje šířku přenosového pásma.

Šířka přenosového pásma, anglicky označovaná bandwidth, je úzce spjata s další důležitou veličinou charakterizující kabelový systém, s přenosovou rychlostí. Přenosová rychlost určuje množství informací, které lze po kabelu přenést za jednotku času. Měří se množstvím přenesených bitů za jednotku času (b/s). Jak již bylo řečeno, digitální signály mění svoji hodnotu skokem z jedné úrovně do další. Nicméně každý skok (hrana) není nekonečně krátký a trvá určitou dobu, viz obr. 7a. Čím rychleji chceme digitální signály přenášet, tím strmější hrany musí signál mít, abychom dokázali vytvářet co nejkratší impulzy. Čím však je strmější hrana, tím větší počet harmonických složek s vyššími kmitočty se podílí na tvorbě impulzu. Nepřeneseme-li je, dochází k zploštění a prodloužení hran impulzů, viz obr. 7b. Množství přenesených vyšších harmonických složek však závisí na šířce přenosového pásma – čím vyšší je šířka pásma, tím lépe se přenášejí složky s vyššími kmitočty a přenosová rychlost se tudíž zvyšuje. Přenosová rychlost a šířka pásma jsou tedy veličiny vzájemně závislé, nikoli však totožné, jak bývá zvykem často uvádět i v odborné literatuře.

Vůči zařízením, k nimž je připojen, se kabel chová jako spotřebič či zdroj signálu, tady jako každé jiné zařízení. K základním charakteristikám jakéhokoli elektrického zařízení patří jeho vnitřní odpor, tj. odpor, který představuje vůči jiným zařízením, jež jsou k němu připojeny. Zdánlivý odpor, který kabel klade ostatním zařízením, se nazývá impedance. Protože však jde o odpor, měří se také impedance v ohmech. Impedance je dána především konstrukcí kabelu. Je závislá na kmitočtu, avšak snahou konstruktérů kabelů je, aby zůstávala v průběhu celé šířky pásma pokud možno stálá.

Impedance je velmi důležitou veličinou, která mj. charakterizuje přenosové vlastnosti kabelu. Je dokázáno, že pro dosažení co nejlepšího přenosu signálu mezi kabelem a zařízením je třeba, aby impedance kabelu i zařízení byly shodné. Impedanci lze velmi zjednodušeně přirovnat ke světlosti (průměru) např. vodovodní roury. Je zřejmé, že nejlepšího průtoku se dosáhne, bude-li světlost vyústění stejná jako světlost roury, která je k němu připojena. Rozhraní s různými impedancemi vytvářejí nesterorodosti (nehomogenity) kabelové trasy a přenosového systému jako celku. Nesterorodost v kabelu působí na přenášený signál stejně jako rozhraní dvou prostředí na světlo, tj. jako zrcadlo. Šířící se signál nebo jeho část se v místě nesterorodosti odrazí a putuje kabelem zpět. Vzhledem k tomu, že kabel je lineární soustava, přímý a odražený signál se sčítají a vytvářejí tzv. stojaté vlnění. Stojatým se nazývá proto, že takovéto vlnění se nepohybuje, a tudíž nepřenáší žádný signál. Výsledek je stejný, jako kdyby prudce stoupl útlum kabelu.

Kabely

V současných počítačových sítích se nejčastěji používají dva typy kabelů – souosé (koaxiální) kabely a tzv. kroucené páry. Liší se jak konstrukcí, tak i vlastnostmi, oblastí a způsobem použití.

Koaxiální kabely

Koaxiální kabel (viz obr. 8) tvoří střední vodič obklopený izolační hmotou ve tvaru válce, která centrální vodič odděluje od vnějšího opletení, jehož základním úkolem je odstínit centrální vodič od vnějších elektromagnetických vlivů. Celý kabel je ještě obalen izolačním pláštěm. Koaxiální kabely se již po dlouhá léta používají pro přenos elektrických signálů v případech, kdy je třeba zabránit jak rušení přenášeného signálu vnějšími vlivy zejména jinými signály, tak zamezit vyzařování přenášených signálů do okolí. Zatímco vlastní signál se přenáší po středním vodiči, slouží opletení kabelu, které bývá obvykle na jednom z konců kabelu uzemněno, současně jako druhý vodič a stínění.

Kroucené páry

Na rozdíl od koaxiálních kabelů tvoří kroucený pár (někdy také označovaný jako kroucená dvojlinka) dva vzájemně zkroucené izolované vodiče, viz obr. 9. Kabely s kroucenými páry pocházejí původně z telefonní techniky, kde se používaly nejenom pro své velmi dobré přenosové vlastnosti, ale zejména pro jednoduchost montáže a manipulace s nimi. Jeden kabel obsahuje obvykle větší počet párů. V kabelech určených pro použití v počítačových sítích bývají nejčastěji páry čtyři. Byť by se to mohlo zdát paradoxní, ani kroucený pár příliš nevyzařuje signál do svého okolí. To je dáno tím, že, pokud je dodržena symetrie páru, signály vyzařované každým z vodičů se vzájemně kompenzují. Stejně tak se i vnější rušení indukuje současně do obou vodičů, takže se díky používaným principům přenosu signálů po krouceném páru rovněž vzájemně kompenzují.

Konektory a spojovací prvky

Konektory slouží k připojování kabelů k zařízení stejně, jako například elektrická zástrčka a zásuvka slouží k připojení spotřebičů k elektrické síti. Obdobně jako v případě elektrických spotřebičů bývají, až na výjimky, konektory používané pro kabeláže v počítačových sítích párové. Kabel se ukončuje zástrčkou, obvykle označovanou jako samčí konektor či zkráceně sameček, zařízení je pak opatřeno zásuvkou nazývanou samiččím konektorem nebo samičkou. Ne vždy je na první pohled zřejmé, který z konektorů je samička a který sameček.

Koaxiální kabely v počítačových sítích se připojují prostřednictvím tzv. BNC konektorů (zkratka z anglického Bayonet Naur Connector, česky bajonetový konektor pana Naura, neboť Naur je jméno člověka, který konektor BNC zkonstruoval). Bajonetovým se konektor nazývá proto, že k mechanickému připevnění samčího konektoru k samiččímu se používá stejného bajonetového uzávěru.

BNC konektor je velmi spolehlivý a zajišťuje dobré mechanické i elektrické propojení kabelu se zařízením, avšak při častém mechanickém namáhání v místě napojení kabelu na konektor zejména tahem nebo ohybem může dojít k poškození kabelu. Nejčastěji jde o přerušení centrálního vodiče nebo jeho vytržení z kontaktního kolíku.

K připojování kabelů z kroucených párů se používají konektory typu RJ 45. Samčí konektor má tvar malé, obvykle průhledné kostičky z umělé hmoty opatřené z jedné strany pružnými kontakty a z druhé strany západkou. Konektor typu RJ 45 se konstrukčně velmi podobá konektorům používaným v moderních telefonních přístrojích a rozvodech (ty jsou typu RJ 11), je však menší.

Kromě kabelových konektorů se v rozvodech počítačových sítí používají další spojovací prvky. Nejčastější jsou tzv. souosé (koaxiální) spojky a BNC-T konektory. Souosá spojka slouží k propojení koaxiálních kabelů. Má tvar válečku, který tvoří dva vzájemně propojené samiččí BNC konektory, k nimž se připojí propojované kabely. BNC-T konektor slouží k připojení koaxiálního kabelu k síťovému adaptéru počítače. Má tvar písmene T, jehož rameno je z obou stran opatřeno BNC samičkami a nožka BNC samečkem. BNC-T konektor je ve skutečnosti kabelová odbočka, která slouží k odbočení signálu z počítačové sítě tvořené souosými kabely připojenými z obou stran k jeho ramenu ke konektoru síťového adaptéru.

Kabelová trasa

Je zřejmé, že vlastnosti síťové infrastruktury jsou dány nejenom vlastními kabely, ale také konektory a dalšími spojovacími prvky a kvalitou jejich vzájemného napojení. Proto se častěji než charakteristiky samotných kabelů udávají charakteristiky tzv. kabelové trasy. Zjednodušeně řečeno, můžeme kabelovou trasu chápat jako úsek tvořený kabelem opatřeným konektory, popř. úsek tvořený několika vzájemně propojenými kabely. Při popisu vlastností kabelových tras se používá několika parametrů. Uvedme si dva nejdůležitější. Prvním z nich je odraz signálu, o němž již byla řeč.

Odrazy signálu

Odrazy signálu způsobují nehomogenity (nestejnorodosti) kabelu. Nestejnorodostí obecně nazýváme takové místo v kabelu, jehož fyzikální vlastnosti se liší od fyzikálních vlastností zbývajících částí kabelu. Nejčastější příčinou nestejnorodostí je připojení kabelu ke konektoru, avšak nestejnorodosti mohou vznikat i nesprávnou manipulací či montáží kabelu. Pomineme-li mechanické poškození kabelu, např. proražení, zlomení nebo přetržení, nejobvyklejšími příčinami nestejnorodostí bývá příliš malý poloměr ohýbání kabelu. U koaxiálního kabelu vede jeho přílišný ohyb k porušení vystředění centrálního vodiče a k jeho přiblížení k opletení. U kroucených párů vede zase přílišné ohýbání k narušení symetrie páru.

Přeslechy

K dalším důležitým parametrům, které charakterizují kvalitu kabelového systému, patří tzv. přeslechy. O přeslechu má smysl mluvit pouze v případě kabelů z kroucených párů, kdy se v jednom kabelu nachází několik párů. Přeslech charakterizuje míru vzájemné indukce signálu mezi jednotlivými páry. Z fyziky je známo, že okolo vodiče, jímž prochází elektrický proud, vzniká magnetické pole. Vodič se tedy chová jako vysílací anténa. Magnetické pole vzniklé průchodem signálu vodiči kabelu může být zachyceno vodiči ostatních párů a může v nich indukovat rušivý elektrický signál. Rušivý, parazitní signál není ve skutečnosti nic jiného než šum, který je zdrojem chyb přenosu. Stejně jako v případě odrazu dochází k vyzařování signálu zejména v místech, kde je homogenita páru narušena. Při správně instalovaném kabelu je tímto místem především jeho napojení na konektor. Zde je totiž, byť jen na několik milimetrů, nutné kabel rozplest, aby jej bylo možné připojit ke kontaktům konektoru. Rozpletení páru vede k výraznému zvýšení úrovně vyzařovaného signálu, a tudíž i ke zvýšení přeslechů mezi páry. K charakterizování úrovně přeslechů se používá několik různých parametrů, z nichž nejdůležitější je tzv. přeslech na blízkém konci označovaný jako NEXT (zkratka z anglického Near End Cross Talk). Měří se stejně jako útlum v decibelech a vyjadřuje poměr úrovní signálů indukovaných v ostatních párech k signálu vysílanému do jednoho z párů. Úroveň indukovaných signálů se měří na tzv. blízkém konci, tedy na kontaktech konektoru, který je připojen ke zdroji signálu. K dalším parametrům patří přeslech na vzdáleném konci – FEXT (zkratka z anglického Far End Cross Talk), který charakterizuje přeslechy na konektoru na opačném konci, než je zdroj signálu.

V praxi se používá celá řada dalších parametrů, z nich většina však může být odvozena z útlumu a přeslechu na blízkém a vzdáleném konci.

Další typy přenosových prostředí

K dalším v počítačových sítích nejčastěji používaným přenosovým prostředím patří optický kabel a bezdrátové spoje. V prvním případě se k přenosu signálů používá světlo přenášené prostřednictvím optického vlákna. Z pohledu fyziky jsou si elektrický signál a světlo velmi podobné, základní rozdíl tkví především ve skutečnosti, že na rozdíl od elektrického proudu, kde přenos energie zajišťují elektrony, jsou v případě světla nositeli energie částice nazývané fotony. Přenosové charakteristiky uvedené pro elektrické signály lze z větší části analogicky aplikovat i na optické přenosy. Optické kabely však umožňují dosáhnout mnohem vyšší šířky pásma a tím i přenosové rychlosti, menšího útlumu, a díky tomu, že optické vlákno nevyzařuje do okolí, jsou správně realizované optické trasy prosty přeslechů.

I pro bezdrátové přenosy, kdy nositelem signálu je elektromagnetické vlnění, platí podobné principy jako pro přenos prostřednictvím metalického, vodičem realizovaného kabelu.

Kódování signálů

Signály přenášené počítačovou sítí jsou elektrickým obrazem číselných dat v dvojkové číselné soustavě, tj. posloupností hodnot 0 a 1 převedenou do elektrické či světelné podoby. Způsob, jakým se převod posloupnosti binárních čísel do posloupnosti elektrických signálů uskutečňuje, se nazývá kódování signálů. V praxi se používá mnoho způsobů, které se vzájemně liší složitostí kódovacího systému, spolehlivostí a odolností proti rušení, viz obr. 10. Přenos signálů je řízen tzv. taktovacím či hodinovým signálem, jehož perioda definuje tzv. bitový interval, tj. časový úsek, po který se hodnota jednoho bitu přenáší.

Popišme si velmi stručně některé z nejčastěji používaných způsobů kódování. Nejjednodušším je tzv. přímé kódování, někdy také označované jako kódování TTL. Hodnotu 0 interpretuje napěťová úroveň 0 V, zatímco úroveň 1 hodnota kladná, např. 5 V. Obdobou přímého kódování je kódování označované jako NRZ (z anglického Non Return to Zero, bez návratu k nulové hodnotě). Nízká, obvykle záporná úroveň označuje hodnotu 0 a vysoká, kladná hodnotu 1.

Odolnější proti rušení jsou kódování založená nikoli na detekci úrovní, ale na detekci přechodů. Binární hodnota zde není interpretována úrovní signálu, ale přechodem signálu z jedné úrovně do druhé. K takovýmto kódům patří kódování NRZI a kódy Manchester a diferenciální Manchester. V případě kódu NRZI reprezentuje libovolný přechod signálu z jedné úrovně do druhé hodnotu 1 a absence přechodu hodnotu 0. Kód Manchester zobrazuje hodnotu 1 jako signál nízké úrovně s přechodem do vysoké úrovně uprostřed bitového intervalu a hodnotu 0 jako signál vysoké úrovně s přechodem uprostřed bitového intervalu do úrovně nízké. Používá se také inverzní kód Manchester, který používá obrácené zobrazení. Diferenciální kód Manchester vždy uskutečňuje přechod signálu uprostřed bitového intervalu, přičemž hodnotu bitu určuje přechod signálu do opačného stavu na začátku následujícího bitového intervalu. Přechod na začátku intervalu označuje hodnotu 0, zůstane-li signál bez přechodu, byla hodnota daného bitu rovna 1.

Dag Jeger