

5. Elektrické a pneumatické signály

Podívejme se na základní systémové vlastnosti vázané na použití elektrického nebo pneumatického signálu. **Elektrický signál** má velmi vysokou rychlost šíření a minimální omezení dosahu signálu. Jako elektromagnetické vlnění není signál omezen vůbec. Dává široké spektrum možností zpracování signálu při dosažení vysoké rychlosti zpracování. Vývoj elektroniky je provázen neustálým zmenšováním systémů a integrací funkcí do jednotlivých částí. Elektrické a elektronické **analogové systémy** jsou postupně nahrazovány **číslicovými systémy**.

Současný stav elektronických systémů je reprezentován především **číslicovou technikou**, která umožňuje jednoduchou tvorbu víceúrovňových systémů při přijatelných cenových relacích. Nevýhodou je citlivost elektronických systémů v extrémních pracovních podmínkách, jako je vysoká teplota, agresivní prostředí, prostředí s nebezpečím exploze a prostředí se silným elektromagnetickým rušením. Další slabinou elektrických systémů (až na vzácné výjimky) jsou podstatně horší vlastnosti elektrických pohonů ve srovnání s pohony pneumatickými či hydraulickými. Elektrické pohony mají menší výkon vztažený na objem či hmotnost, jsou obvykle výrazně pomalejší, mají menší záběrný moment (nebo sílu) a jsou značně problematické v prostředích s nebezpečím výbuchu. Jejich cena je pro srovnatelný výkon vyšší než cena pohonů pneumatických.

Pneumatický signál v sobě nese kromě informace i značné množství akumulované energie, takže konstrukce pohonů je jednoduchá a laciná. Pneumatické pohony jsou schopny velmi jednoduše realizovat především posuvný pohyb, kyvný pohyb i rotační pohyb a jsou schopny dosáhnout vysokých rychlostí posunů (až 3 m/s) či otáček i při vysokých zátěžích (řádově desítky kN/m). Jsou schopny konstrukčně jednoduše realizovat v jedné stavební jednotce i několik různých současných pohybů (např. vysunutí a natočení). Existují i nové principy pneumatických pohonů (např. "pneumatický sval" aj.). Specialitou pneumatiky je možnost jednoduše pomocí přísavek manipulovat s hladkými nemagnetickými předměty, a to i značných velikostí a hmotností (např. s tabulovým sklem). Ze své podstaty není pneumatický signál zdrojem nebezpečí ve výbušných prostředích. Pneumatické systémy jsou imunní vůči rušivým vlivům a jsou jednoduché pro údržbu.

Z hlediska regulace je důležité **časové zpoždění signálu**, které vzniká nabíjením kapacity (pneumatické, tepelné, elektrické) přes odpor (pneumatický, tepelný, elektrický). Podle toho kolik se postupně nabíjí kapacit mluvíme o jednodukapacitních a vícekapacitních soustavách (soustavy prvního nebo vyššího řádu).

5.1 Unifikované signály

Automatizační prostředky jsou buď elektrické, nebo pneumatické. A/Č převodníky a regulátory zpracovávají unifikované signály. Proto je většina **snímačů fyzikálních veličin** vybavena **převodníky**, které zpracují měřenou veličinu na unifikovaný signál. Snímače s převodníkem často tvoří jeden celek, který se nazývá **vysílač** měřené nebo regulované veličiny. U pneumatických systémů se používá unifikovaný tlakový signál v rozsahu 20 až 100 kPa, který lze jednoduše měřit tlakoměry.

U elektrických signálů je možno stejně snadno měřit napětí i proud, a to jak stejnosměrného tak i střídavého průběhu. Střídavý signál má pro dálkový přenos některé nevýhodné vlastnosti, protože vlivem indukčnosti a kapacity spojovacího vedení dochází k fázo-

vému posunu různých signálů, a tím k problémům např. při jejich sčítání. Proto se používá jako elektrický unifikovaný signál **stejnoseměrný proud nebo napětí**. Proudový signál se používá na větší vzdálenosti, např. mezi snímačem a regulátorem nebo mezi regulátorem a servomotorem. Signál 4 až 20 mA bývá nazýván "signál s živou nulou", protože nula rozsahu je posunuta na 4 mA, takže nulový proud signalizuje poruchu vedení. Na rozdíl od pneumatických signálů musí být u elektrických signálů určen i dovolený zatěžovací odpor a nejvyšší dovolená střídavá složka signálu, aby nedošlo k jeho špatné interpretaci při následném zpracování. Elektrické a pneumatické unifikované signály uvádí tab. 5.1.

| Elektrický jednotný signál | Zatěžovací odpor | Maximální hodnota zvlnění (š-š) na vstupu | Maximální hodnota zvlnění (š-š) na výstupu |
|----------------------------|------------------|---|--|
| 0 až 10 V | min.2400 | 1 % | 0,25 % |
| -10 až +10 V | min.2400 | 1 % | 0,25 % |
| 0 až 20 mA | max.500 | 10 % | 0,25 % |
| 4 až 20 mA | max.500 | 10 % | 0,25 % |

| | |
|-----------------------------|---------------|
| Pneumatický jednotný signál | 20 až 100 kPa |
| Jednotný napájecí tlak | 140 kPa |

Tabulka 5.1: Unifikované signály

5.2 Pneumaticko-elektrická analogie

Ukážeme si, že elektrický i pneumatický princip řídí analogické přírodní zákonitosti. Základními prvky jak elektrických tak i pneumatických vedení jsou odpory a kapacity. Je nutno zdůraznit, že se jedná o vedení s rozloženými parametry, to znamená, že každý jeho úsek má stejné vlastnosti. **Elektrické odpory a kapacity** probíráme v kap. 8.1.

Pneumatické odpory se konstrukčně realizují jako škrtící odpory, clony, trysky, ventily a pod. Pokud při průtoku plynu pneumatickým odporem dochází k laminárnímu proudění, je tento odpor konstantní. Při turbulentním proudění dochází ke složitějším jevům a odpor se stává nelineární. Při laminárním proudění platí pro hmotnostní průtok Q [kg/s] a tlakový rozdíl Δp [Pa] na pneumatickém odporu R_{pneu} vztah

$$Q = \frac{\Delta p}{R_{pneu}} \quad (5.1)$$

Tento vztah odpovídá analogicky Ohmovu zákonu (viz kap. 8.1) v elektrickém obvodu.

Pneumatické kapacity se realizují jako uzavřené nádoby či komory o daném objemu V [m³]. Vzhledem k tomu, že napájecí tlak je $p_o = 140$ kPa (absolutní tlak 240 kPa), lze pro tyto velikosti tlaku považovat používaný vzduch za ideální plyn a je možné pro vyjádření dynamických vztahů vyjít ze stavové rovnice. Za předpokladu izotermické změny stavu vzduchu při konstantním objemu V je možno psát

$$p V = n R T \quad (5.2)$$

kde p značí tlak, V objem, n látkové množství plynu, R univerzální plynovou konstantu a T teplotu. Úpravou dostaneme

$$p = \frac{n R T}{V} = \frac{n}{C_{pneu}} \quad (5.3)$$

kde C_{pneu} je pneumatická kapacita, daná při izotermické změně vztahem

$$C_{pneu} = \frac{V}{R T} \quad (5.4)$$

Pneumatická kapacita je mírou schopnosti pojmout určité množství plynu. Předešlou rovnici lze přepsat

$$n = p C_{pneu} \quad (5.5)$$

a získáme vztah analogický vztahu mezi nábojem, kapacitou a napětím na kondenzátoru $Q = C U$ (kap.8.1). Zderivujeme tento vztah podle času

$$\frac{dn}{dt} = C_{pneu} \frac{dp}{dt} \quad (5.6)$$

Dále platí, že průtok látkového množství plynu je roven

$$Q_n = \frac{dn}{dt} \quad (5.7)$$

Po dosazení dostaneme

$$Q_n = C_{pneu} \frac{dp}{dt} \quad (5.8)$$

Tento vztah je analogický se vztahem mezi proudem, kapacitou a změnou napětí na odporu $i = C \, du/dt$. Přehled analogických elektrických a pneumatických veličin uvádí tab. 5.2.

| Elektrický systém | Pneumatický systém |
|-------------------------|---|
| napětí U | tlak p |
| proud I | průtok Q_n |
| elektrický odpor R | pneumatický odpor R_{pneu} |
| elektrická kapacita C | pneumatická kapacita C_{pneu} |
| elektrický náboj Q | látkové množství plynu n |
| časová konstanta $=RC$ | čas.konstanta $_{pneu} = R_{pneu} C_{pneu}$ |

Tabulka 5.2: Analogie elektrických a pneumatických veličin

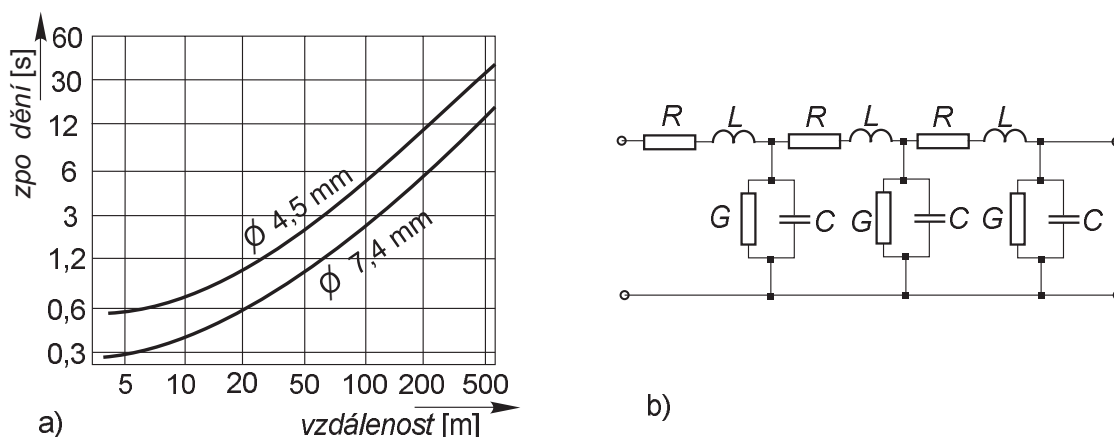
5.3 Dálkový přenos signálů

5.3.1. Přenos pneumatických signálů

Signál se přenáší šířením tlakového vzduchu v signálním potrubí. Pro vedení pneumatického signálu se používá kovových nebo plastických trubiček o průměru nejčastěji 6 až 8 mm, které přenášejí informaci až do vzdálenosti 300 m bez výrazného zkreslení. Toto šíření vyžaduje určitý časový interval, protože potrubí se přitom musí plnit nebo vyprazdňovat - vzduch je stlačitelný (obr. 5.1a) [19]. Jestliže časové konstanty regulované soustavy jsou řádově 0,1 s až 10 s, nelze dobu potřebnou k přenosu pneumatického signálu zanedbat. Dynamické vlastnosti šíření též závisejí na vlastnostech vstupního a výstupního členu. V případě potřeby se tyto dynamické vlastnosti určí měřením přechodové charakteristiky soustavy vstup - potrubí - výstup.

5.3.2 Přenos elektrických signálů

V dálkovém měření a ovládání jsou informace na velké vzdálenosti obvykle přenášeny elektrickým signálem. Pokud jsou vzdálenosti, na které se signál přenáší malé, mohou být signály spojité. Pro přenosy na větší vzdálenosti by však poruchy na přenosové trase podstatně zkreslovaly i přenášenou informaci, proto se používají nespojitě signály (např. pulsně šířková modulace).



Obrázek 5.1: a) Zpoždění pneumatického signálu b) Model elektrického vedení

Elektrické vedení je charakterizováno čtyřmi veličinami vztaženými na jednotku délky: indukčností L , kapacitou C , odporem R a vodivostí G reprezentující svod (obr. 5.1b). Vztah mezi proudem a napětím signálu šířícího se po vedení charakterizuje **vlnová impedance** vedení (též charakteristická impedance)

$$Z_o = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (5.9)$$

Rozměrem vlnové impedance je Ω . Tyto veličiny ovlivňují i rychlost šíření signálu po vedení (kabelem), která v běžném případě dosahuje řádově rychlosti světla. Vlnová impedance je charakteristická veličina každého vedení. Je nezávislá na přenášeném kmitočtu a délce vedení. V praxi se určuje měřením indukčnosti L a kapacity C zvoleného úseku vedení. Při tom postupujeme tak, že kapacitu měříme při vedení na konci rozpojeném (naprázdno) a indukčnost při vedení zakončeném zkratem (nakrátko). Z naměřených údajů potom vypočteme vlnovou impedanci podle zjednodušeného vztahu

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (5.10)$$

který získáme z předchozího vztahu zanedbáním R proti ωL a G proti ωC . Např. v rozhlasových a televizních rozvodech se používají koaxiální kabely se $Z_o = 75 \Omega$ nebo souměrné dvoulinky se $Z_o = 300 \Omega$.