

Ing. Karel H a n z a, CSc, VÚHU

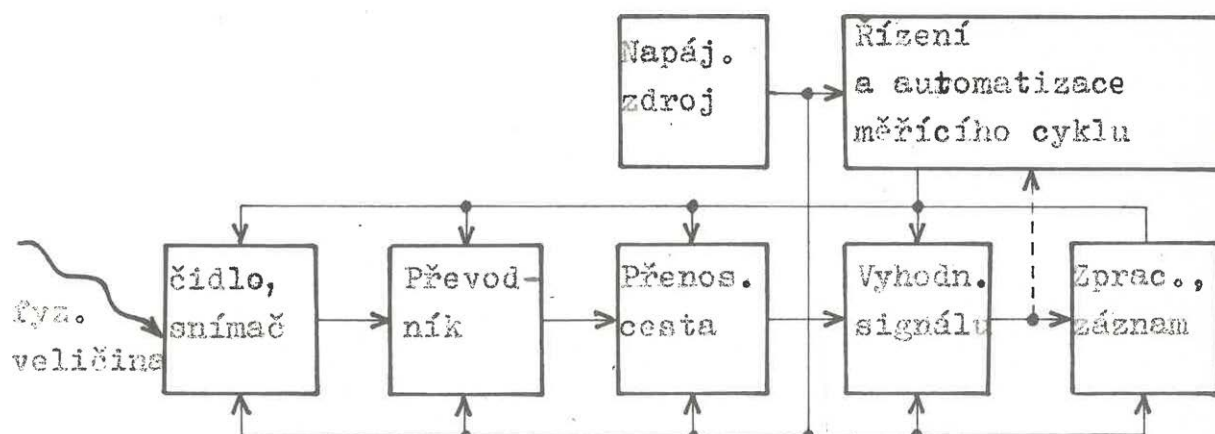
Elektronický převodník pro měřicí a řídicí techniku

1. Úvod

V období vědeckotechnické revoluce má elektronika rozhodující význam ve všech oblastech národního hospodářství a určuje i trend dalšího rozvoje. Československo je jednou z těch zemí, které nezachytily v plném rozsahu prudkou změnu ve vývoji elektroniky a moderní výpočetní a řídicí techniky. Vyrovnat tento skluz bude trvat ještě několik let a je tedy nutné toto období překlenout alespoň částečnou modernizací a zlepšováním stávající techniky. Této skutečnosti se nemůže vyhnout ani průmyslová oblast zabývající se těžbou a zpracováním uhlí, protože i její rozvoj je závislý na rozvoji a hlavně uplatňování elektrotechniky v řízení i vlastním průmyslovém procesu. Na prvním místě to bude silnoproudá elektrotechnika /zejména elektrické pohony/, která by měla přinést největší kvalitativní zlom zejména důsledným zaváděním tyristorové techniky doplněné moderními řídicími obvody. V oblastí řízení průmyslových procesů bude největší důraz kladen na měřicí techniku. Bude třeba získávat značné množství údajů z rozsáhlých technologických komplexů, tato data soustředit do jednoho zpracovatelského bloku a hlavně je využít zpětně pro řízení. Aby bylo možné měřicí a řídicí signály přenášet na příslušná místa, bude ve většině případů nutné tyto signály zpracovat na formu, která je vhodná pro přenosové cesty v těžkých průmyslových provozech.

Jedním z elektronických obvodů, který tuto problematiku dílčím způsobem řeší a který má široké uplatnění v měřicí a řídicí technice je převodník frekvence impulsů na analogový signál, eventuelně obvod s opačnou funkcí, tj. obvod plnící funkci napětově řízeného oscilátoru. Při složitějším přenosu signálu bývají zpravidla oba tyto obvody součástí měřicího

systemu /obr. 1/.



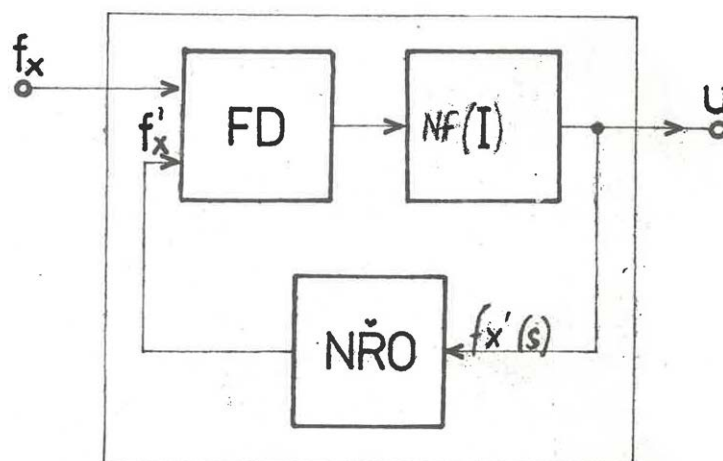
Obr. 1. Blokové schéma měřicího systému

S ohledem na odolnost vůči rušení, eventuelně pro zjednodušení záznamu, je ve většině případů nutný blok "Převodníku", který převádí stejnosměrný signál z čidla na frekvenci impulsů. Funkcí tohoto převodníku tedy plní napěťově řízený oscilátor a pro zpětné vyhodnocení měřicího signálu slouží pak převodník frekvence impulsů na analogový signál /blok "Vyhodnocení signálu" v obr. 1/. Převodník může být i jiného charakteru /např. číslicový/. Dále popisovaný typ předčí však ostatní jednoduchostí, spolehlivostí a malými rozměry. Z našeho pohledu se lze dívat na převodník a blok vyhodnocení jako na transformační členy elektrického signálu.

V další části článku věnujeme pozornost pouze převodníku frekvence impulsů na analogový signál, založený na principu fázového závěsu, protože součástí tohoto typu převodníku je také napěťově řízený oscilátor. Ten lze použít jako převodník pro signál z čidla /viz obr. 1/, a tak do určité míry unifikovat celý měřicí systém i omezit chyby způsobené transformací signálu. Univerzálnost fázového závěsu spočívá i v možnosti širšího uplatnění, např. jako násobiče frekvence a obvodu pro posun fáze či šířkovou modulaci impulsů.

2. FázoVÝ_závěs

V klasickém zapojení, podle kterého si vysvětlíme činnost, tvoří fázoVý závěs jedna regulační smyčka, která se skládá z fázoVého detektoru FD, nízkofrekvenčního filtru NF a napěťově řízeného oscilátoru NŘO /obr. 2/.



Obr. 2. Blokové schéma fázoVého závěsu

Vstupní signál f_x se fázoVě srovnává ve fázoVém detektoru FD se signálem f'_x , který přichází z napěťově řízeného oscilátoru NŘO. Výstupní napětí z detektoru je filtrováno filtrem NF a používá se pro řízení oscilátoru NŘO v obvodu zpětné vazby. Výsledkem pak je, že oscilátor je synchronizován se vstupním signálem f_x a výstupní napětí u je úměrné jak frekvenci oscilátoru ve zpětné vazbě, tak i frekvenci vstupních impulsů. Působením zpětné vazby se tedy nastavuje na výstupu filtru napětí, které udržuje frekvenci oscilátoru f'_x rovnou vstupní frekvenci f_x .

Linearita a koeficient převodu jsou pak dány pouze vlastnostmi napěťově řízeného oscilátoru ve zpětné vazbě. Dynamické chování /přechodová charakteristika/ převodníku je určeno prakticky jen časovou konstantou filtru, protože vliv oscilátoru lze vhodnou korekcí vyloučit. Časová konstanta

filtru je rovněž určující pro stabilitu celého systému. V případě, že jsou kladeny extrémní požadavky na zvlnění výstupního napětí u , nahrazujeme nf. filtr integrátorem. Z důvodů stability je pak bezpodmínečně nutné upravit přenos NŘO proporcionálně derivační korekci tak, aby přenos zpětnovazební větve měl tvar

$$f_x'/p/ = k /1 + pT/ u /p/ \quad //$$

Další výhody získá převodník tím, že bude ve fázovém detektoru zpracovávat signály f_x a f_x' ve formě úzkých impulsů. Pak je možno fázový detektor navrhnout i jako frekvenční /bez omezení na dolním konci kmitočtového pásma/ a detektor realizovat pomocí dvou jednoduchých integrovaných obvodů TE-SLA.

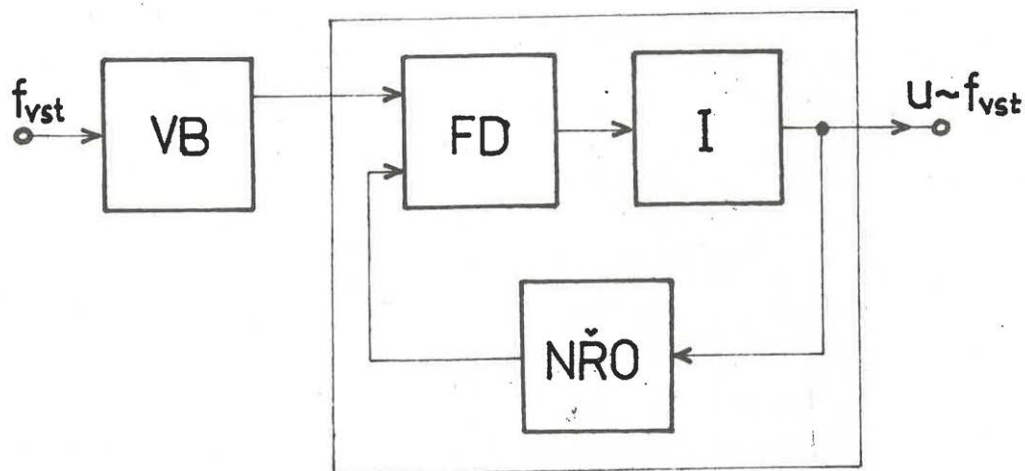
3. Příklady použití

Fázový závěs má přednosti proti ostatním obvodům zejména tam, kde se požaduje :

- a/ krátká časová konstanta /tj. dobré dynamické vlastnosti /
- b/ velký rozsah zpracovávaných frekvencí /i přes několik dekád/
- c/ vysoká linearita a přesnost převodu
- d/ minimální zvlnění výstupního napětí
- e/ nízká pořizovací cena
- f/ spolehlivost

Obvod je možno doporučit zejména pro tyto aplikace: převodník frekvence na analogový signál, násobič frekvence impulsů, obvod pro vyhodnocení derivace, eventuelně odchylky frekvence, frekvenčně nezávislý člen pro posuv fáze, převodník analogového signálu na šířkovou modulaci impulsů, aktivní filtr a optoelektrický izolační člen. Všechny tyto obvody byly pomocí fázového závěsu realizovány a v praxi se osvědčily.

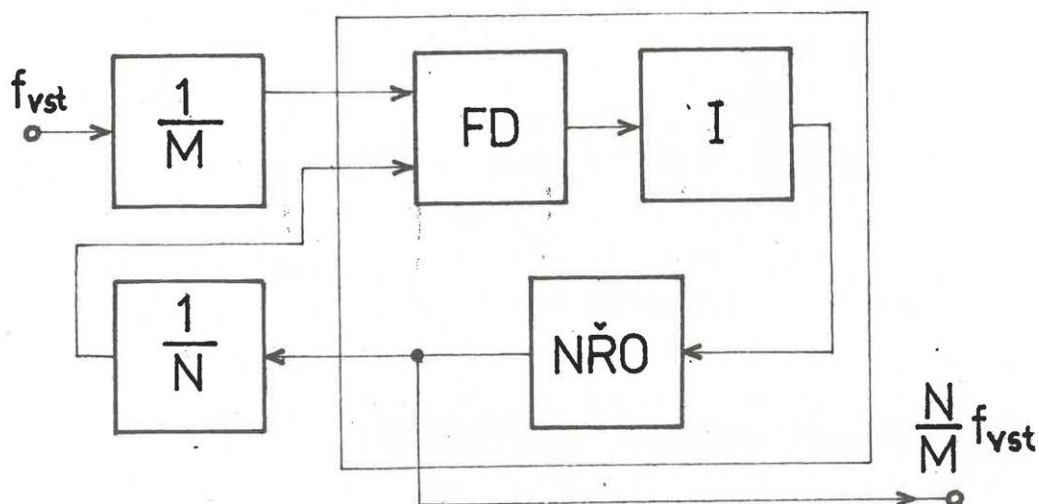
3.1. Převodník frekvence na analogový signál



Obr. 3. Blokové schéma převodníku f/u

Jelikož vstupní signál, který musí obvod zpracovat, přichází v nejrůznější formě / sinusový signál, signál ve formě obdélníků s libovolnou střídou a strmostí hran či velmi úzké impulsy /, je nutné před vlastní obvod zařadit vstupní blok VB /obr. 3/, který zpracuje vstupní signál na potřebný tvar, tj. na velmi úzké impulsy.

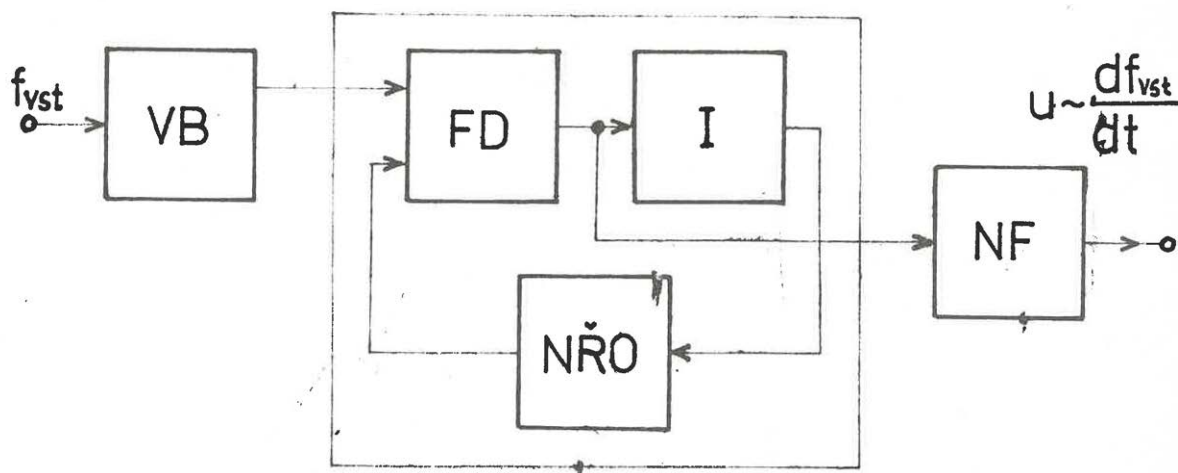
3.2. Násobič frekvence impulsů



Obr. 4. Blokové schéma násobiče frekvence

Pro tyto aplikace je třeba obvod doplnit děliči kmitočtu $1/M$ a $1/N$, realizovanými nejčastěji čítačem modulo M respektive modulo N .

3.3. Obvod pro vyhodnocení derivace frekvence



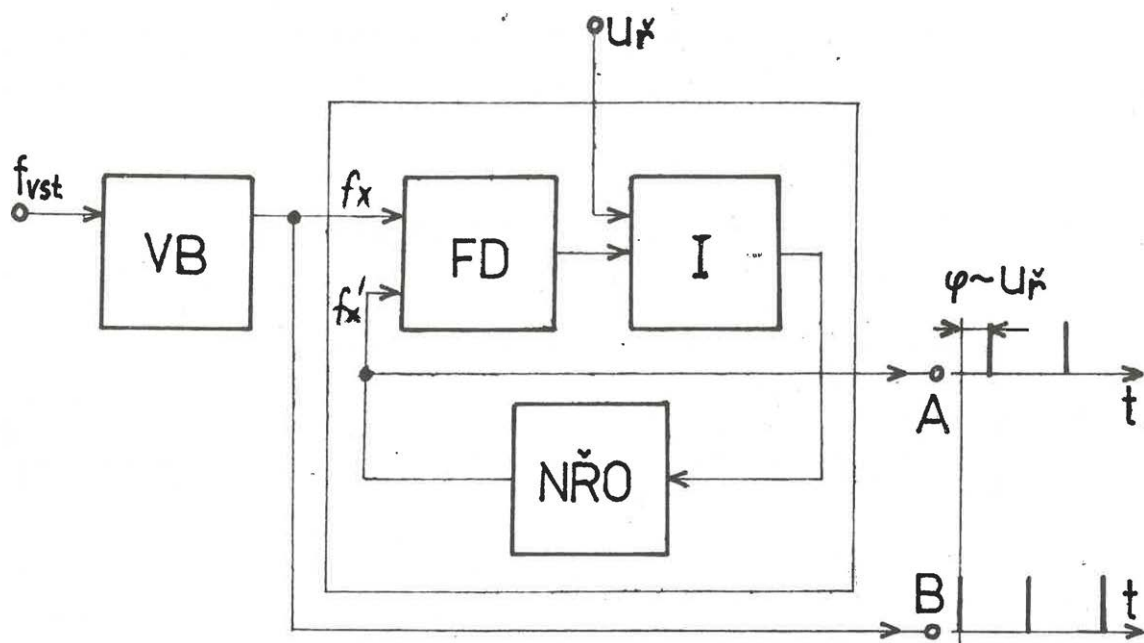
Obr. 5. Blokové schéma obvodu pro vyhodnocení df/dt

Tím, že vyrovnaní obou frekvencí na vstupu FD neprobíhá okamžitě, ale podle určité časové konstanty /určené převážně časovou konstantou integrátoru I /, objeví se na výstupu FD během přechodového děje impulsy, jejichž šířka je úměrná okamžitému rozdílu $|f_x - f'_x|$, tj. úměrná df/dt . Pro další zpracování je zpravidla nutné tento signál vyfiltrovat v nízkofrekvenčním filtru NF.

3.4. Frekvenčně nezávislý člen pro posuv fáze

Mezi impulsy f_x a f'_x se nastaví takový fázový rozdíl, že střední hodnota napětí impulsů na výstupu FD se právě rovná řídícímu napětí $U_{ř}$.

Připojíme-li svorky A a B na vstupy bistabilního multi-vibrátoru /klopného obvodu/, získáme na jeho výstupu impulsy, jejichž šířka je úměrná řídícímu napětí $U_{ř}$. Obvod v tomto případě plní funkci převodníku analogového signálu na šířkovou modulaci impulsů.



Obr. 6. Blokové schéma obvodu pro posuv fáze

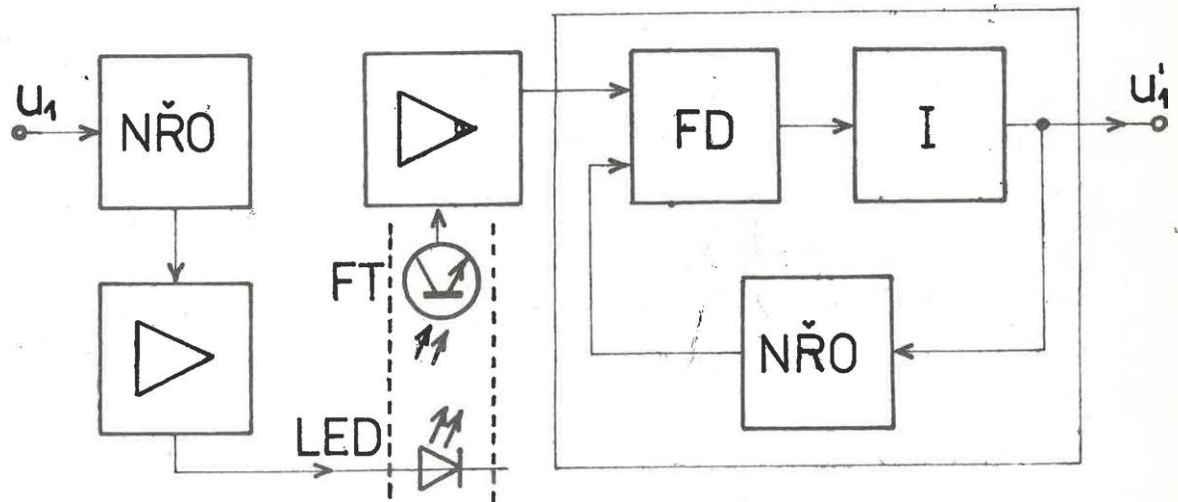
3.5 Aktivní filtr

Jako aktivní filtr nalezl fázový závěs největší uplatnění v radiokomunikační technice, kde se používá zejména pro demodulaci frekvenčně modulovaného signálu. V měřicí a řídicí technice je pro tyto účely využití fázového závěsu zcela vyjimečné.

3.6 Optoelektrický izolační člen /obr. 7/

Při měření na zařízení s vysokým potenciálem je zpravidla nutné oddělit měřicí signál od vysokého napětí zařízení /např. při měření na el. lokomotivách atp. /. To lze provést oddělovacím kondenzátorem, transformátorem a optoelektrickým členem. V každém případě je ale nutné převést stejnosměrný měřicí signál na frekvenci impulsů a na straně nízkého potenciálu tyto impulsy zpět přetransformovat na původní signál. Je to tedy typický příklad měřicího systému, jak je naznačeno na obr. 1, kde přenosovou cestou je světlovod izo-

lačního členu.



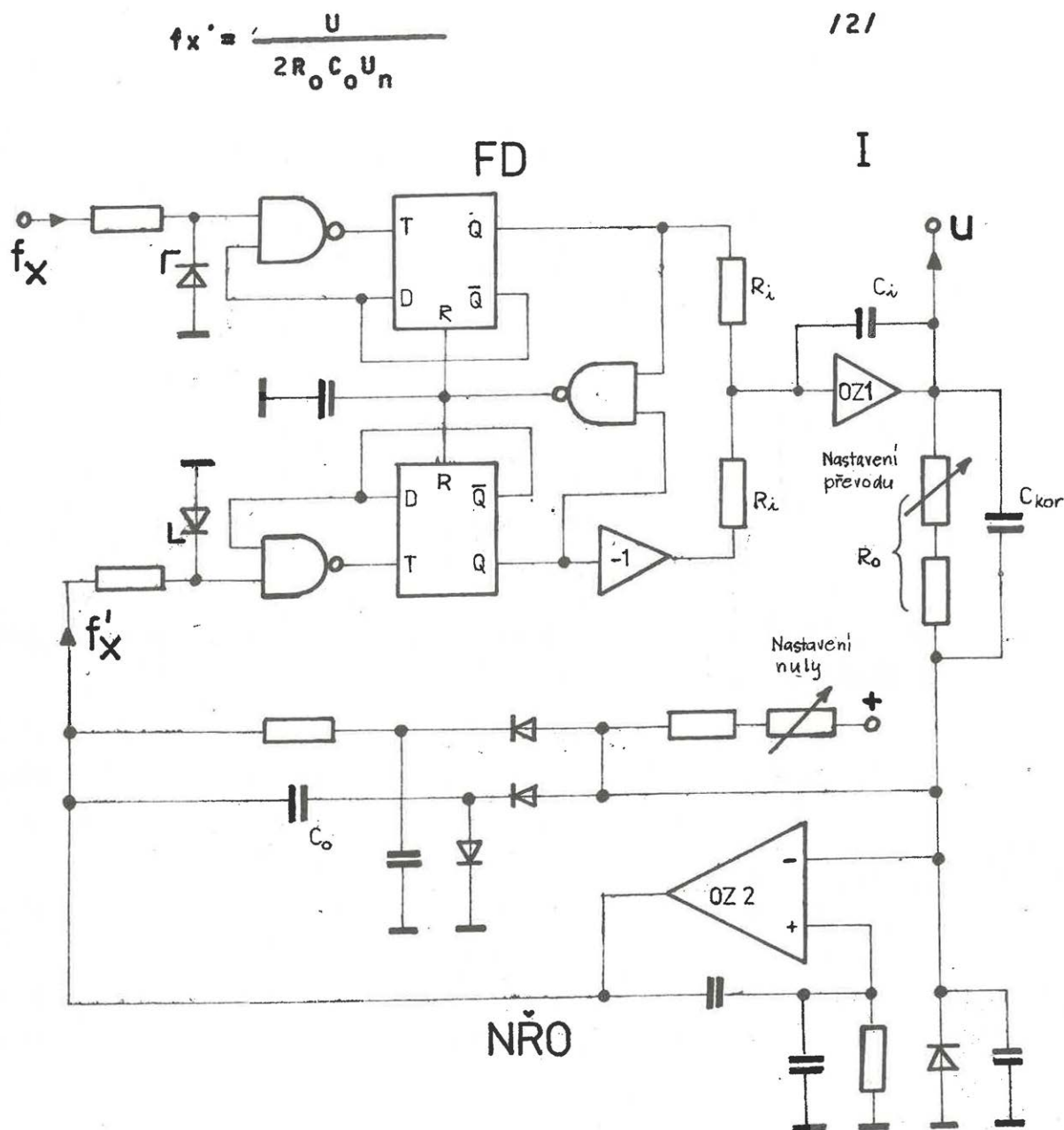
Obr.7. Blokové schéma optoelektrického izolačního členu

3.7. Obvody pro záznam a vyhodnocení měřicího signálu na magnetofonovém pásku

Pro záznam stejnosměrného nebo pomalu se měnícího signálu je zapotřebí speciální měřicí magnetofon. Ten je vybaven obvody pro převod měřicího signálu zpravidla na frekvenčně modulovaný signál a pro přehrávání obvody pro zpětný převod. Je tu zřejmá analogie se schématem na obr.7, kde vlastní záznamové zařízení magnetofonu představuje přenosová cesta /světlovod/. To ale znamená, že pro méně náročná měření /miněno co do frekvenčního rozsahu/ lze použít běžný magnetofon doplněný obvody podle obr. 7.

4. Schema zapojení fázového závěsu

Na obr. 8 je uvedeno jedno z možných zapojení fázového závěsu. Toto bylo například využito pro optoelektrický izolační člen. Zapojení napěťově řízeného oscilátoru /OZ 2/ bylo převzato z [1]. Pro kmitočet tohoto oscilátoru platí vztah /2/, kde U_n značí hodnotu napájecího napětí operačního zesilovače OZ2.



Obr. 8. Schema zapojení fázového závěsu

V současné době by však bylo vhodnější využít pro NŘO některý z dovážených integrovaných obvodů /555, 74121 atp./ určených speciálně pro tyto účely. Závislost kmitočtu na napájecím napětí je u těchto obvodů podstatně menší. Uvedené zapojení fázového detektoru plní zároveň funkci frekvenčního

detektoru, takže obvod je vhodný i pro velké rozsahy vstupní frekvence f_x . Omezení je dáno jen přeladěním oscilátoru NŘO. Integrátor I tvoří operační zesilovač OZ1. Je doplněn invertorem /-1/, který má za úkol změnit polaritu napětí z druhého výstupu detektoru FD. Detektor totiž pracuje pouze s napětím +5V /TTL logika/.

5. Podmínky stability

Vzhledem k tomu, že fázový závěs je systém se zpětnou vazbou, je bezpodmínečně nutné vymezit požadavky, za kterých zařízení splňuje podmínky stability. Tyto podmínky jsou určeny polohou kořenů charakteristické rovnice v "z" rovině, respektive podmínkou, že kořeny $z_{1,2}$ splňují vztah $|z_{1,2}| < 1$. Z rozborů provedených v [2] vyplývá, že pro stabilitu celého systému má rozhodující vliv napěťová konstanta integrátoru k_i /má rozměr V/sec/. Aby popisovaný systém byl stabilní musí k_i splňovat vztah /3/, kde $C = C_{kor}/C_o$

$$0 < k_i < \frac{10}{C} \cdot f_{x \min} \quad /3/$$

/viz obr. 8/ a $f_{x \min}$ je minimální vstupní frekvence obvodu. Volbou k_i lze pak nastavit požadovaný tvar přechodové charakteristiky. Zásadně ale musí být splněno, že $f_{x \min} > 0$.

6. Určení parametrů obvodu

Ze struktury fázového závěsu vyplývá, že obvodové konstanty lze zásadně rozdělit do tří skupin :

a/ obvodové konstanty, které určují statickou převodní charakteristiku, tj. konstanty R_o a C_o . Ty jsou vázány vztahem /4/

$$f_{x \max} = \frac{1}{R_o C_o} \quad /4/$$

- b/ obvodové konstanty, které mají vliv na dynamické chování obvodu, tj. konstanty C_{kor} , C_i , R_i a U_L , kde U_L je amplituda impulsů na výstupu FD /tj. pro TTL logiku 4,5V/. Napěťová konstanta k_i je dána vztahem /5/, přičemž musí zároveň splňovat /3/.

$$k_i = \frac{U_L}{R_i C_i} \quad /5/$$

- c/ obvodové konstanty, které se musí volit v závislosti na použitých součástkách, tj. konstanty U_L a U_{max} , kde U_{max} je maximální hodnota výstupního napětí integrátoru I a odpovídá maximální vstupní frekvenci $f_{x max}$.

6.1. Zjednodušené vztahy pro výpočet parametrů obvodu

Následující zjednodušené vztahy pro výpočet parametrů obvodu jsou určeny pro dva nejčastěji se vyskytující případy přechodových charakteristik převodníků frekvence impulsů na analogový signál. Poloha kořenů charakteristické rovnice je přitom volena tak, aby tolerance součástek měly minimální vliv na změnu parametrů obvodu.

6.1.1. Přechodová charakteristika s prvním překmitem 10 %

$$C_o = \frac{1}{R_o f_{max}} \quad /6/ \quad ; \quad C_{kor} = \frac{0,77}{R_o f_{x min}} \quad /7/$$

$$k_i = \frac{4,5}{R_i C_i} = 1,15 \cdot \frac{f_{x min}^2}{f_{x max}} \quad /8/$$

Velikost odporů R_o a R_i pro vztahy /6/ a /8/ volíme s ohledem na použité operační zesilovače.

6.1.2. Přechodová charakteristika pro kritické tlumení

$$C_o = \frac{1}{R_o f_{max}} \quad /6/ \quad ; \quad C_{kor} = \frac{5}{R_o f_{x min}} \quad /9/$$

$$k_i = \frac{4,5}{R_i C_i} = 0,7 \cdot \frac{f_{x\min}^2}{f_{x\max}} \quad /10/$$

7. Závěr

Předností popisovaného fázového závěsu je, že nevyžaduje, na rozdíl od klasického obvodu, spojitý vstupní signál, čímž získává další vlastnosti, vhodné zejména při použití v regulační a měřicí technice, přičemž je schopen zpracovat skokové změny frekvence i přes několik dekád při relativně velmi krátké časové konstantě. Vlastnosti obvodu byly prakticky ověřeny na několika zařízeních a obvod se osvědčil.

Literatura

1. Pease, R. : Ultralinear Voltage to Frequency Converter. Electronic Engineering, March 1971, p. 77.
2. Hanza, K. : Modifikovaný obvod s fázovou synchronizací. Kandidátská disertační práce, VŠSE Plzeň 1975.

Recenzoval : Ing. Vodička Jaroslav, Tuček Levín.

S h r n u t í

Elektronický převodník pro měřicí a řídicí techniku

Článek je věnován zapojení a využití speciálního elektronického obvodu - fázového závěsu - v oblasti řízení průmyslových procesů a v měřicí technice, zejména jeho užití jako převodníku frekvence impulsů na analogový signál, násobiče frekvence impulsů a jako obvodu pro záznam a vyhodnocení měřicího signálu na magnetofonovém pásku.