



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

201 074

(11) (B1)

(61)

(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno 11. 04. 74
(21) PV 2635-74

(51) Int. Cl.³ H 03 H 7/00

7/01

(40) Zveřejněno 29. 02. 80
(45) Vydáno 01. 03. 83

(75) Autor vynálezu KVASIL JOSEF prof. ing. CSc.,
MOOS PETR ing. CSc., PRAHA a
MARTÍNEK PRAVOSLAV ing., ÚSTÍ NAD LABEM

(54) Aktivní filtr RC.

1

Vynález se týká aktivního filtru RC s libovolně nastavitelnými koeficienty přenosové funkce s použitím pro kmitočtově selektivní systémy, pro korektory, především pro použití v telekomunikační technice a v regulační a měřicí technice.

Postup miniaturizace a integrace elektronických obvodů přináší s sebou i nové problémy. Filtry, realizované jako integrovaný obvod, nemohou ve své struktuře obsahovat induktory v podobě klasických cívek. Existuje již řada metod pro syntézu "bezindukčnostních" filtrů. Vesměs využívají aktivních funkčních bloků, jako jsou gyrátory, impenční konvertory, operační zesilovače atd.

S těmito funkčními bloky lze realizovat filtry v podobě integrovaných obvodů.

V telekomunikační technice, v regulační, případně i v měřicí technice se vyskytují selektivní obvody a korektory s velmi rozmanitými přenosovými funkcemi. Syntéza aktivních obvodů RC, realizujících dané přenosové funkce, je často velmi zdoluhavá a komplikovaná. Je nutno provádět rozklad přenosové funkce, realizovat dvojbrany RC z prvků dvojbranové matice atd. Také hodnoty kondenzátorů jsou velmi různorodé. U současných typů aktivních filtrů realizujících přenosové funkce vyšších řádů není možné nastavovat samostatně vždy jedním prvkem jednotlivé koeficienty polynomů v přenosové funkci. Různorodost hodnot kapacit kondenzátorů přináší obtíže při výrobě i při nastavování přenosových

101 074

vých parametrů obvodu.

Výše uvedené nedostatky odstraňuje aktivní filtr RC s definovaným polynomm přenosové funkce, sestávající z frekvenčně závislého děliče, tvořeného odpory, kondenzátory a operačními zesilovači, podle vynálezu. Jeho podstata spočívá v tom, že ve frekvenčně závislém děliči jsou zapojeny vícenásobné induktory nebo vícenásobné kapacitory. Více-násobné induktory nebo vícenásobné kapacitory jsou vytvořeny ve formě nejméně dvojpólové náhrady. K vnějším svorkám aktivního filtru RC jsou paralelně připojeny vnější odpory, z nichž každý je přitom připojen mezi dva mutátory.

Dále je podle vynálezu účelné, jestliže vícenásobné induktory a vícenásobné kapacitory jsou tvořeny mutátory, které obsahují frekvenčně závislé konvertory postupně zapojené do větve s vnějším odporem.

Podle dalšího význaku jsou mutátory vytvořeny řetězy operačních zesilovačů, jejichž výstupy jsou připojeny přes odpory na první vstupy operačních zesilovačů a přes kondenzátory na druhé vstupy operačních zesilovačů. Druhé vstupy předcházejících operačních zesilovačů jsou připojeny na první vstupy následujících operačních zesilovačů a referenční středové vývody těchto operačních zesilovačů jsou vzájemně propojeny.

Čtyřpólová náhrada vícenásobné indukčnosti je určena součinem kaskádních matic tvaru:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{H_n p^n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & R_n \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & H_n p^n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & R_n H_n p^n \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

kde H_n je konstanta daná konstrukcí mutátoru,

p je komplexní kmitočet a

R_n je odpor transformovaný na vícenásobnou indukčnost.

Podle dalšího významu vynálezu jsou sousedící mutátory $L^{1/n}/R$ nahrazeny mutátorem jedním na základě vztahu:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{H_{n-1} p^{n-1}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{H_n p^n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{H_{n-1}}{H_n} \frac{1}{p} \end{bmatrix}.$$

Aktivní filtr RC podle vynálezu s výhodou sestává z mutátorů vyšších řádů, realizovaných v kanonické formě, sestávající z postupného řazení stejných frekvenčně závislých konvertorů do větve s vnějším odporem.

Vícenásobné induktory, respektive vícenásobné kapacitory jsou zapojeny jako prvky ve frekvenčně závislém děliči, který má například v případě dolní propusti napěťový přenos ve tvaru:

$$A_n/p/ = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_0}{R_0 + p L_1^{1/1} + p^2 L_2^{2/2} + \dots + p^n L_n^{n/n}} =$$

$$= \frac{R_0}{R_0 + p H_1 R_1 + p^2 H_2 H_2 + \dots + p^n H_n R_n},$$

kde $A_n/p/ = \frac{U_2}{U_1}$ je přenos napětí ze vstupu na výstup,

R_0 je odpor ve frekvenčně závislém děliči,

$L_i^{i/i/}$ je vícenásobná indukčnost,

H_i je konstanta mutátoru $L^{i/i/}$ R 2.druhu a

R_i je odpor, který se mutátorem $L^{i/i/}$ R transformuje na vícenásobnou indukčnost.

Výhodou aktivního filtru RC podle vynálezu je, že umožňuje realizaci libovolné přenosové funkce tak, že je možno pomocí vždy jednoho vnějšího odporu nastavit jeden koeficient polynomu přenosové funkce, a to nezávisle na ostatních. Další výhodou je podle vynálezu to, že hodnoty kondenzátorových čipů uvnitř jednotlivých mutátorů mohou být všechny stejné. Výhodou je také to, že jednotlivé stavební díly filtru, mutátory $L^{n/n/}$ R, mohou tvořit samy o sobě univerzální stavebníci pro realizaci aktivních obvodů RC. Další výhodou je možnost realizace mutátoru $C^{n/n/}$ G pouhou záměnou vstupních a výstupních svorek. Tento zmíněný mutátor umožňuje realizovat vícenásobný kondenzátor o admitanci:

$$Y/p/ = C^{n/n/} p^n.$$

Obvod aktivního filtru RC podle vynálezu je možné realizovat pomocí hybridní mikroelektronické technologie, kde mutátory tvoří samostatné hybridní funkční bloky. Reaktance jsou tvořeny pomocí kapacitorů uvnitř mutátorů. Tyto kapacitory mohou být vkládány do hybridních obvodů mutátorů jako monolitické čipy. Nastavování hodnot odporů, které určují velikost příslušné konstanty v polynomu přenosové funkce, se provádí buď pomocí proměnných odporů nebo pevných odporů o vypočtené hodnotě, připojených na svorkách mutátorů.

Z principu funkce vyplývá, že aktivní filtr RC lze realizovat pro libovolné zakončovací impedance.

Zapojení aktivního filtru RC s libovolně nastavitelnými koeficienty přenosové funkce podle vynálezu bude blíže popsáno na příkladech jeho provedení s pomocí připojených výkresů, na nichž

- obr. 1 představuje blokové schéma aktivního filtru RC podle vynálezu, jímž je možno realizovat například uvedenou funkci "kvazipolynomiálního" typu;
- obr. 2 představuje schematické označení a impedance vícenásobného induktoru a admitanci vícenásobného kapacitoru;
- obr. 3 představuje způsob simulace vícenásobného induktoru dvojpólovou náhradou;
- obr. 4 představuje způsob simulace vícenásobného induktoru čtyřpólovou náhradou;
- obr. 5 představuje princip realizace aktivního filtru RC s vícenásobnými induktory podle vynálezu;
- obr. 6 představuje náhradu vícenásobných induktorů v aktivním filtru RC pomocí mutátorů 2. druhu podle vynálezu;
- obr. 7 představuje princip čtyřpólové náhrady vícenásobných induktorů podle vynálezu;
- obr. 8 představuje zjednodušené schéma zapojení aktivního filtru RC;
- obr. 9 představuje nulorový model mutátoru $L^{/n/}$ R 2. druhu;
- obr. 10 představuje způsob náhrady nulorů v modelu pomocí operačních zesilovačů;
- obr. 11 představuje jiný způsob realizace mutátoru $L^{/n/}$ R 2. druhu;
- obr. 12 představuje princip realizace aktivního filtru RC s vícenásobnými kapacitami podle vynálezu;
- obr. 13 představuje principiální zapojení aktivního filtru RC, ve kterém jsou vícenásobné kapacitory nahrazeny mutátory $C^{/n/}$ G, zatíženými vodivostmi G_n .

Frekvenčně závislý dělič aktivního filtru RC 1 sestává ze sériového spojení vícenásobných induktorů a odporu R_0 . Každý jednotlivý vícenásobný induktor $L_i^{/n/}$ o impedanci dané vztahem

$$Z_i/p/ = L_i^{/n/} p^n$$

sestavá podle vynálezu z mutátoru $L^{/n/}$ R 2. druhu, zatíženého odporem R. Toto uspořádání převádí zatěžovací odpor R z výstupních svorek do vstupních svorek na vícenásobný induktor $L^{/n/}$. Matematické vyjádření mutátoru $L^{/n/}$ R 2. druhu je dáno vztahem

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{k_n p^n} \end{bmatrix},$$

kde A je kaskádní matice,

k_n je konstanta mutátoru daná realizací a

$p = \sigma + j\omega$ je komplexní kmitočet.

Převod odporu R z výstupu na vstup mutátoru $L^{/n/} R$ je možno vyjádřit vztahem

$$\begin{aligned} Z_1/p/ &= K_n p^n R = p^n L^{/n/}, \\ L^{/n/} &= K_n R, \end{aligned}$$

kde $Z_1/p/$ je vstupní impedance odporově zatíženého mutátoru $L^{/n/} R$.

Sériovým zapojením vícenásobných induktorů podle vynálezu je možno realizovat závislý dělič, který představuje aktivní filtr RC 1.

Obr. 1 představuje příklad blokového uspořádání aktivního filtru RC 1 typu dolní propust. Koeficienty přenosové funkce

$$A_u/p/ = \frac{U_2}{U_1} = \frac{K_0}{K_0 + K_1 p + K_2 p^2 + \dots + K_n p^n},$$

kde: $A_u/p/ = \frac{U_2}{U_1}$ je přenos napětí naprázdno,

K_i jsou koeficienty polynomu přenosové funkce a

$p = \sigma + j\omega$ je komplexní kmitočet,

je možno nastavit vnějšími odpory R_i podle obr. 1. Základním stavebním prvkem v aktivním filtru RC 1 je tzv. vícenásobný induktor, popřípadě vícenásobný kapacitor. Oba prvky a jejich impedance resp. admitance jsou znázorněny na obr. 2. V praktickém zařízení je možno vícenásobný induktor a podobně i vícenásobný kapacitor nahradit pomocí odporově zatíženého mutátoru $L^{/n/} R$ 2. druhu podle obr. 3. Uvedený mutátor má kaskádní matici

$$C_{L^{/n/}-R} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{H_n p^n} \end{bmatrix}.$$

Zatěžovací odpor R_n se transformuje na vstup podle vztahu:

$$\begin{aligned} Z_1/p/ &= H_n p^n R_n, \\ L^{/n/} &= H_n R_n, \end{aligned}$$

kde $Z_1/p/$ je vstupní vodivost mutátoru $L^{/n/} R$ zatíženého vnějším odporem R_n a

H_n je konstanta mutátoru daná jeho konstrukcí.

201 074

Na obr. 4 je uvedena tzv. čtyřpólová náhrada vícenásobným induktorem. Uvedené zapojení se dá charakterizovat součinem kaskádních matic

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{H_n p^n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & R_n \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & H_n p^n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & R_n H_n p^n \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Aktivní filtr RC 1 podle vynálezu je možno realizovat frekvenčně závislým děličem využívajícím vícenásobných induktorů, případně kapacitorů. Na obr. 5 je uvedena dolní propust, jejíž přenosová funkce je uvedena na obr. 1. Vhodným uspořádáním vícenásobných induktorů v děliči je možno realizovat i pásmovou i horní propust. V praktickém zapojení je možno nahradit vícenásobné reaktance pomocí odporově zatížených mutátorů /obr. 6/. Na obr. 7 je znázorněno využití tzv. čtyřpólové náhrady vícenásobných induktorů. Podle vynálezu je možno sousedící dvojice mutátorů nahradit mutátorem jedním /viz dvojici "A" na obr. 7/. Zapojení se velmi zjednoduší. Na obr. 8 je naznačeno výsledné zapojení aktivního filtru RC 1. Koeficienty polynomů je možno nastavit pomocí vnějších odporů R_0 až R_n . Pro přenosovou funkci frekvenčně závislého děliče podle obr. 5 a obr. 8 platí

$$\begin{aligned} A_u/p/ &= \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_0}{R_0 + p L_1 /1/ + p^2 L_2 /2/ + \dots + p^n L_n /n/} = \\ &= \frac{R_0}{R_0 + p H_1 R_1 + p^2 H_2 R_2 + \dots + p^n H_n R_n}. \end{aligned}$$

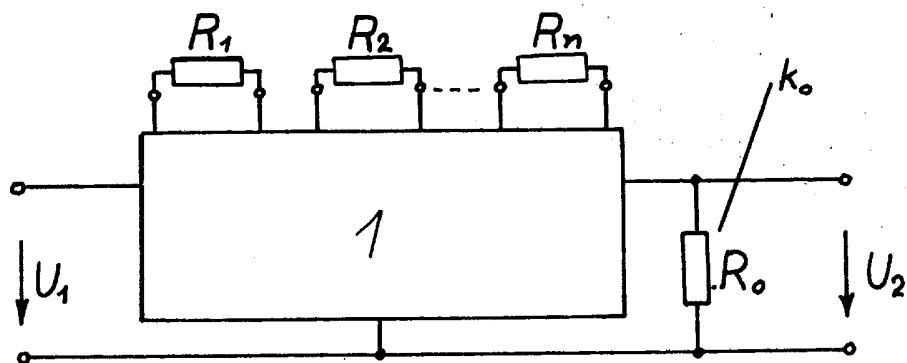
Na obr. 9 a na obr. 11 jsou znázorněny možnosti realizace mutátorů $L/n/$ R 2. druhu. Nulory je možno v uvedených zapojeních nahradit pomocí operačních zesilovačů 2 podle obr. 10.

Na obr. 12 a na obr. 13 je uveden příklad zapojení dolní propusti s vícenásobnými kapacitami, které jsou opět využity ve frekvenčně závislém děliči.

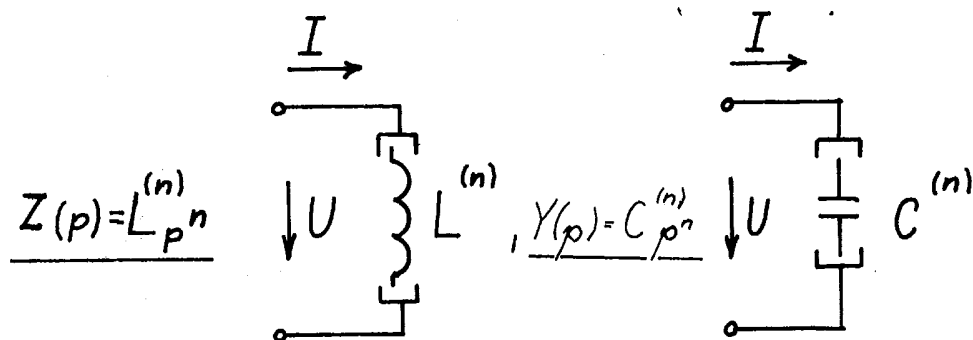
PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Aktivní filtr RC s definovaným polynomelem přenosové funkce, sestávající z frekvenčně závislého děliče, tvořeného odpory, kondenzátory a operačními zesilovači, vyznačující se tím, že ve frekvenčně závislém děliči jsou zapojeny vícenásobné induktory $L/n/$ nebo vícenásobné kapacitory $C/n/$, které jsou vytvořeny ve formě nejméně dvojpólové náhrady, přičemž k vnějším svorkám aktivního filtru RC 1/ jsou paralelně připojeny vnější odpory $R_i/$, z nichž každý je připojen mezi dva mutátory $L/n/$ R nebo $C/n/$ G/.

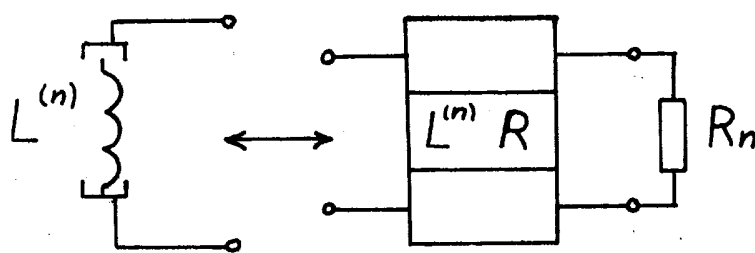
2. Aktivní filtr RC podle bodu 1, vyznačující se tím, že vícenásobné induktory $/L^{/n/}$ R nebo $C^{/n/}$ G/, které obsahují frekvenčně závislé konvertory postupně zapojené do větve s vnějším odporem $/R_i/$.
3. Aktivní filtr RC podle bodu 1, vyznačující se tím, že mutátory $/L^{/n/}$ R nebo $C^{/n/}$ C/ jsou vytvořeny řetězy operačních zesilovačů /2/, jejichž výstupy jsou připojeny přes odpory $/R_i/$ na první vstupy operačních zesilovačů /2/ a přes kondenzátory $/C_i/$ na druhé vstupy operačních zesilovačů /2/, přičemž druhé vstupy předcházejících operačních zesilovačů /2/ jsou připojeny na první vstupy následujících operačních zesilovačů /2/, zatímco referenční středové vývody těchto operačních zesilovačů /2/ jsou vzájemně propojeny.



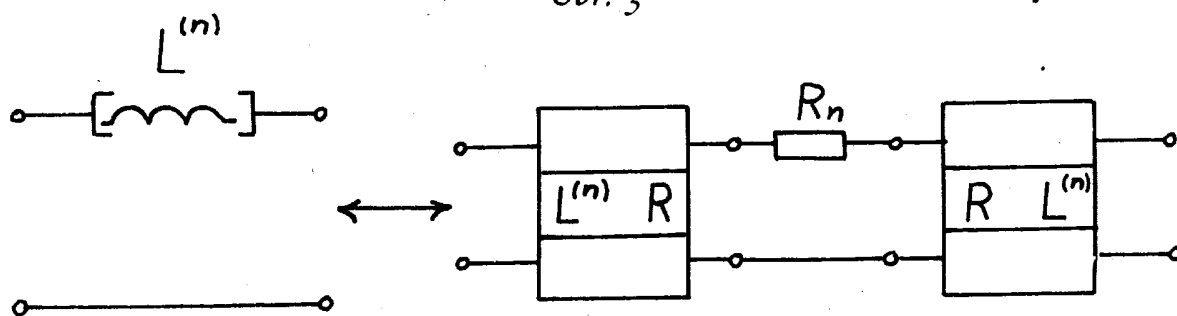
Obr. 1



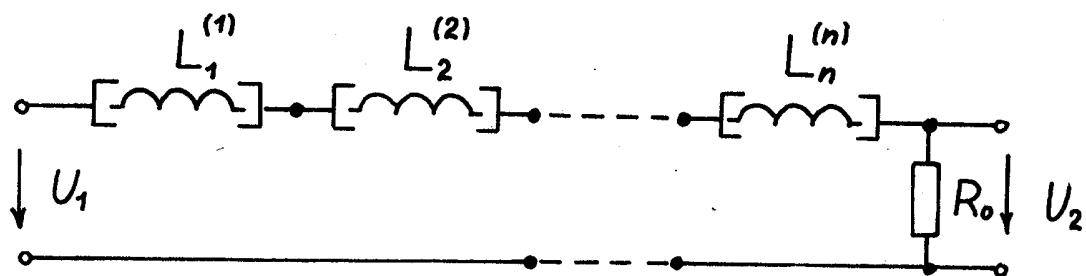
Obr. 2



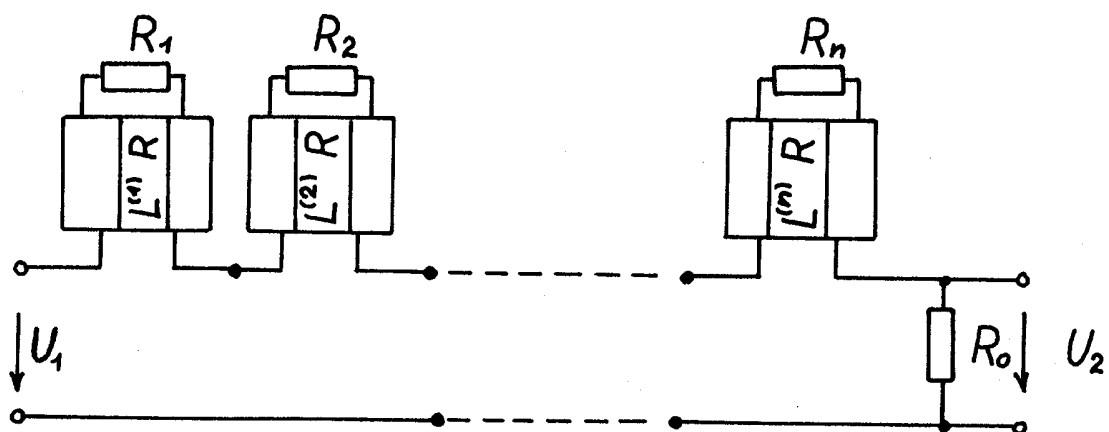
Obr. 3



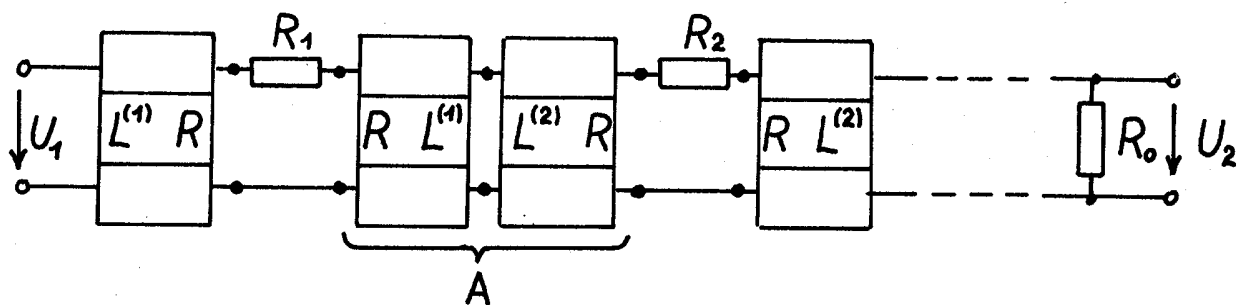
Obr. 4



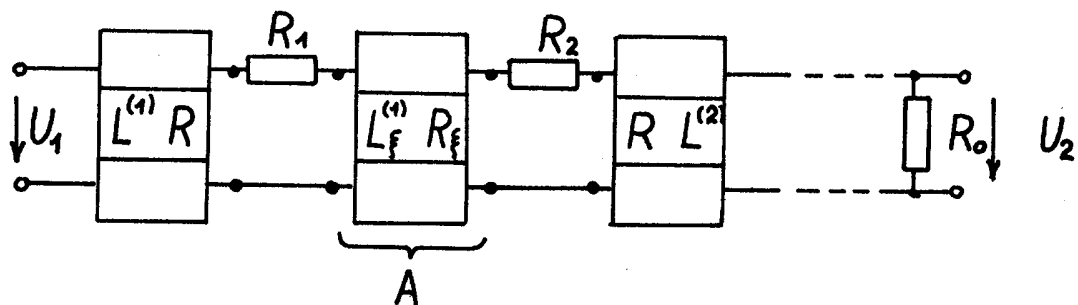
Obr. 5



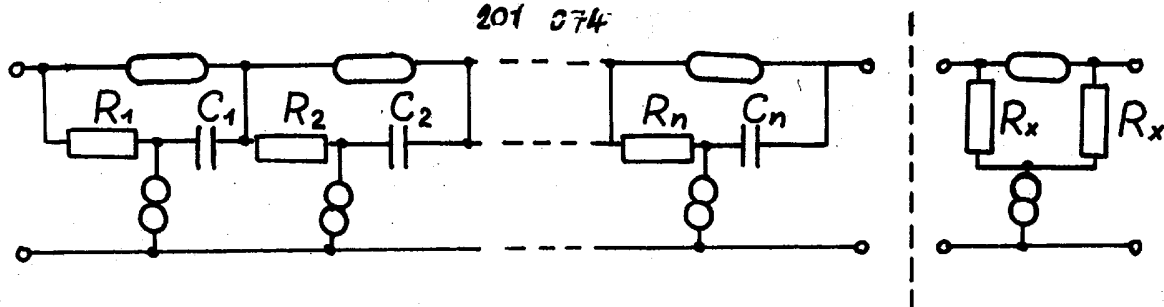
Obr. 6



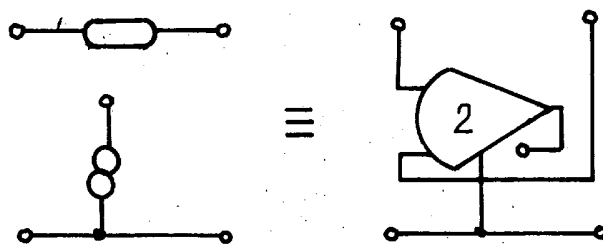
Obr. 7



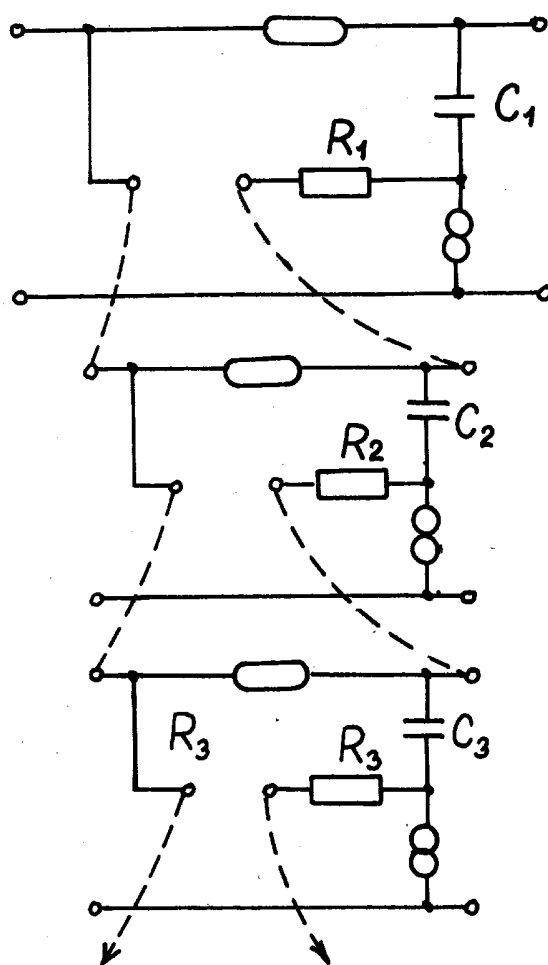
Obr. 8



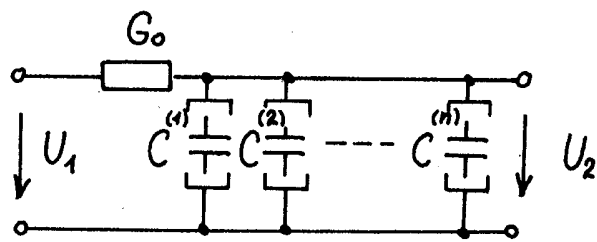
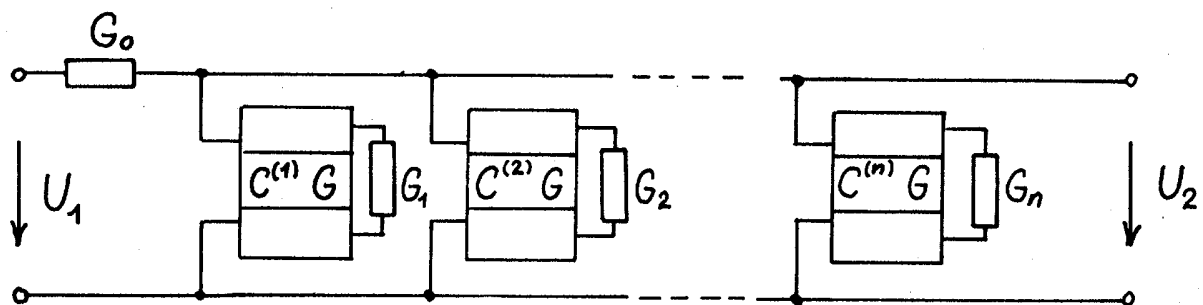
Obr. 9



Obr. 10



Obr. 11

Obr. 12Obr. 13