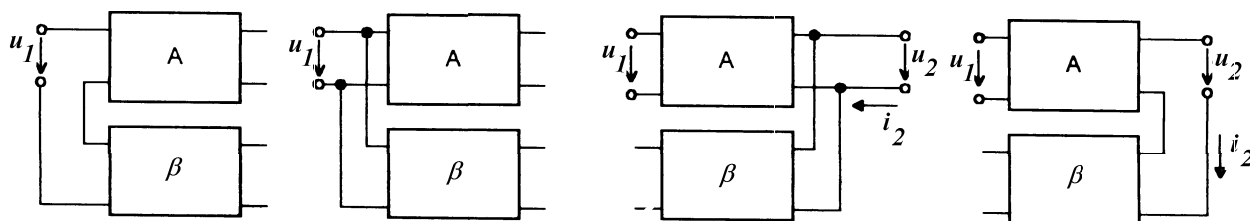


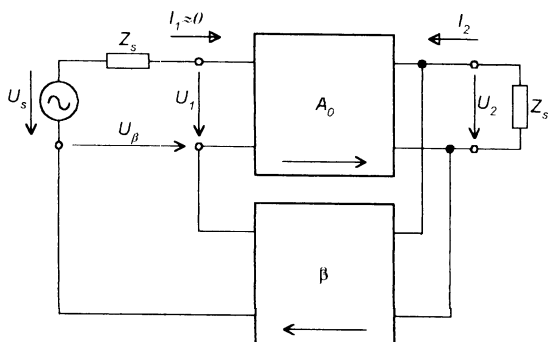
Zpětná vazba v zesilovači, stabilita zesilovače

Úkolem zesilovače je přenášet signály a zesilovat ze vstupu na výstup. Zároveň však může v každém zesilovači docházet i k přenosu signálu ve směru opačném, tedy od výstupu ke vstupu zesilovače. Tato tzv. *zpětná vazba* může mít podstatný vliv na základní vlastnosti zesilovače. Zpětné vazby rozdělujeme podle několika hledisek: podle vlivu na zesílení zesilovače na kladnou – zpětnovazební signál se sčítá s původním signálem, zápornou zpětnou vazbu – zpětnovazební signál se odčítá od vstupního signálu. Podle způsobu přivedení zpětnovazebního signálu na vstup na sériovou zpětnou vazbu, kdy je zpětnovazební signál v sérii se vstupním signálem a na paralelní, kdy je se zpětnovazební signál přivádí paralelně ke vstupnímu signálu. Podle způsobu odběru zpětnovazebního signálu na napěťovou zpětnou vazbu, kdy je zpětnovazební signál úměrný výstupnímu napětí a na proudovou zpětnou vazbu, kdy je zpětnovazební signál úměrný výstupnímu proudu zesilovače.



Obr. 1. Druhy zpětných vazeb: zpětná vazba sériová, paralelní, napěťová, proudová

Pro vysvětlení podstaty zpětné vazby budeme vycházet ze zapojení na obr. 2.



Obr. 2. Základní skupinové schéma zpětnovazebního obvodu

Zesilovač bez zavedené zpětné vazby vykazuje napěťový přenos

$$A_0 = \frac{U_2}{U_1}$$

a tedy napětí U_2

$$U_2 = A_0 U_1$$

Zpětnovazební dvojbran vykazuje napěťový přenos

$$\beta = \frac{U_\beta}{U_2}$$

a tedy napětí U_β

$$U_\beta = \beta U_2$$

dosadíme za U_2 a dostáváme

$$U_\beta = \beta A_0 U_1$$

Toto napětí je zavedeno na vstup zesilovače v sérii s napětím externího budícího zdroje U_s , takže vstupní napětí zesilovače U_1 je

$$U_1 = U_s + U_\beta$$
¹

Tedy napětí U_s

$$U_s = U_1 - U_\beta$$

dosadíme za U_β

$$U_s = U_1 - \beta A_0 U_1$$

vytkneme U_1

$$U_s = U_1 (1 - \beta A_0)$$

A konečně získáváme napěťový přenos zesilovače se zavedenou zpětnou vazbou, který je

$$A_u = \frac{U_2}{U_s}$$

¹Tato rovnice přesně platí pouze za předpokladu velké vstupní impedance zesilovače ($I_1 \approx 0$).

dosadíme za U_s

$$A_u = \frac{U_2}{U_1(1 - \beta A_0)}$$

výraz $\frac{U_2}{U_1}$ představuje přenos zesilovače bez zavedené zpětné vazby A_0 a tedy

$$A_u = \frac{A_0}{1 - \beta A_0}$$

Získali jsme tzv. Blackův vzorec vyjadřující vliv zpětné vazby na napěťové zesílení zesilovače.

Rozhodující význam pro určení vlastností zesilovače má součin βA_0 , popř. výraz $1 - \beta A_0$, což je tzv. *vratný rozdíl* nebo *stupeň zpětné vazby*, který vyjadřuje poměr zesílení samotného zesilovače k zesílení zesilovače se zařazenou zpětnou vazbou.

$$V = 1 - \beta A_0 = \frac{A_0}{A_u}$$

Následující tabulka udává vliv „velikosti“ zpětné vazby na výsledný přenos zesilovače

záporná zpětná vazba	$\beta A_0 < 0$	$V > 1$	$A < A_0$
kladná zpětná vazba	$\beta A_0 > 0$	$V < 1$	$A > A_0$
nulová zpětná vazba	$\beta A_0 = 0$	$V = 1$	$A = A_0$
kritická zpětná vazba	$\beta A_0 = 1$	$V = 0$	$A = \infty$, zesilovač kmitá

Tab. 1. Vliv zpětné vazby na zesílení

Povšimněme si zde kritické hodnoty zpětné vazby $\beta A_0 = 1$, $V = 0$. Při této hodnotě má zesílení zesilovače tendenci vzrůstat k nekonečnu, zesilovač se stává nestabilním a začíná vyrábět vlastní oscilace, což je pro zesilovač pracující jako zesilovač nežádoucí.

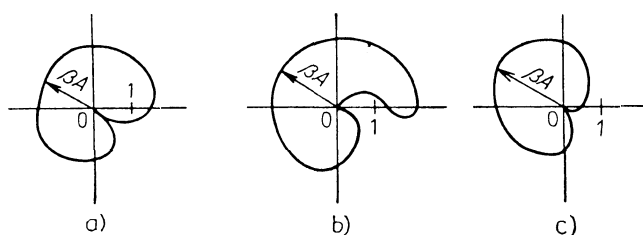
Jak již bylo řečeno, zpětná vazba má vliv na všechny základní vlastnosti zesilovače. Tento vliv je shrnut v následující tabulce

	Záporná zpětná vazba				Kladná zpětná vazba			
	napěťová		proudová		napěťová		proudová	
	sériová	paralelní	sériová	paralelní	sériová	paralelní	sériová	paralelní
Napěťové zesílení	klesá	klesá	klesá	klesá	stoupá	stoupá	stoupá	stoupá
Proudové zesílení	klesá	klesá	klesá	klesá	stoupá	stoupá	stoupá	stoupá
Šířka přenášeného pásma	stoupá	stoupá	stoupá	stoupá	klesá	klesá	klesá	klesá
Činitel nelineárního zkreslení	klesá	klesá	klesá	klesá	stoupá	stoupá	stoupá	stoupá
Stabilita zesilovače	stoupá	stoupá	stoupá	stoupá	klesá	klesá	klesá	klesá
Vstupní impedance	stoupá	klesá	stoupá	klesá	klesá	stoupá	klesá	stoupá
Výstupní impedance	klesá	klesá	stoupá	stoupá	stoupá	stoupá	klesá	klesá

Tab. 2. Vliv zpětné vazby na základní vlastnosti zesilovače

Součin βA_0 je obecně komplexní. Vyneseme-li do Gaussovy roviny koncové body vektorů $\vec{\beta A_0}$ pro kmitočty od 0 Hz do ∞ , dostáváme tzv. *Nyquistův diagram*. Z Nyquistovy charakteristiky lze odečíst, kdy má daná zpětná vazba povahu záporné zpětné vazby a kdy kladné. Pro kmitočty, jímž odpovídá průsečík Nyquistovy charakteristiky se zápornou větví reálné poloosy, je zpětná vazba čistě záporná ($\beta A_0 = -\beta A_0$; $\varphi_{\beta A_0} = 180^\circ$). Čistě kladná je zpětná vazba při frekvenci, pro kterou je součin βA_0

čistě reálný a kladný ($\beta A_0 = +\beta A_0$; $\varphi_{\beta A_0} = k \cdot 360^\circ$, $k \in \mathbb{Z}$). Mezní hodnotu obecné kladné zpětné vazby zobrazíme v Gaussově rovině kružnicí kolem bodu se souřadnicemi $(1; j0)$ s poloměrem $r = 1$. Pro kmitočty, jimž odpovídají body Nyquistovy charakteristiky ležící uvnitř této kružnice, má zpětná vazba povahu obecné kladné zpětné vazby ($0 < V < 1$), kdežto pro kmitočty, jimž odpovídají body vně této kružnice, má zpětná vazba povahu obecné záporné zpětné vazby ($V > 1$). Tyto možnosti změny zpětné vazby při určitém kmitočtu, tj. změny ze záporné na kladnou zpětnou vazbu a naopak, jsou z konstruktérského hlediska velmi důležité, neboť záporná zpětná vazba zlepšuje některé vlastnosti zesilovače a změní-li na určitém kmitočtu na kladnou, může se projevit značně rušivě, nebo se např. může při zdánlivě záporné zpětné vazbě zesilovač rozkmitat při kmitočtu, při kterém se zavedená vazba projevuje jako kladná.



Obr. 3. Nyquistův diagram zesilovače a) nestabilního, b) s podmíněnou stabilitou, c) stabilního²

Míru stability zesilovače při změnách frekvence posuzujeme podle vzdálenosti Nyquistovy charakteristiky od kritického bodu $(1; j0)$, který odpovídá kritické kladné zpětné vazbě ($V = 0$, $\beta A_0 = 1$). Obecně mohou nastat tři případy Nyquistovy charakteristiky, jak je znázorněno na obr. 3.

Použitá literatura

- [HBN86] Hojka, J. – Boltík, J. – Nobilis, J.: Radioelektronická zařízení I. SNTL, Praha, 1986.
- [VM82] Vackář, J. – Marvánek, L.: Radioelektronická zařízení pro 4. ročník SPŠ elektrotechnických. SNTL, Praha, 1986.

²Pro úplnost by měl být ještě zakreslen případ, kdy diagram protíná kritický bod $(1; j0)$, tedy $|\beta A_0| = 1$.