

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikácií

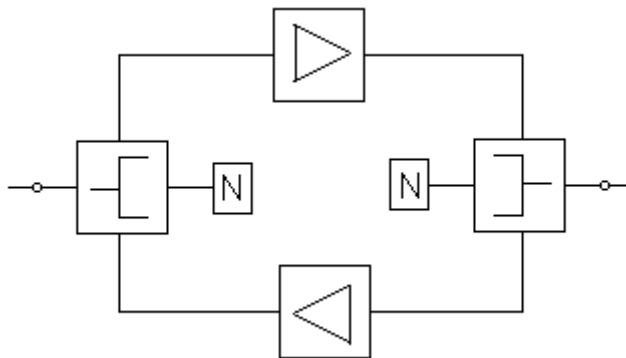
Meranie na vidliciach

Zadanie úloh

1. Na predložených typoch transformátorovej a odporovej vidlice zmerajte vstupné impedancie Z_2 a Z_4 na bránach 2-2 (vstup zosilňovača) a 4-4 (výstup zosilňovača). Meranie vykonajte pri frekvenciách $f = 0,1; 0,3; 1; 2; 3; 5; 10$ kHz. Oba typy vidlíc majú určenú vstupnú impedanciu vedenia $Z_L = 600 \Omega$.
2. Na základe merania z úlohy č.1 vypočítajte prevodový pomer p_{12} pre transformátorovú vidlicu.
3. Zmerajte prevádzkové tlmenie v smere vysielacom (a_{p1-2}), prijímacom (a_{p4-1}) a oddeľovacom (a_{p4-2}) na predloženom type transformátorovej vidlice porovnávacou metódou. Platí: $a_p = a_o + k$

Teoretický úvod

Vidlica (diferenciálny transformátor) je jeden z najdôležitejších elementov v technike dvojdrôtových zosilňovačov a štvordrôtových vedení. Hlavná funkcia vidlice, odkiaľ aj názov pochádza, je „rozvidľovanie“ diaľkového dvojdrôtového vedenia na dva samostatné dvojdrôtové priebehy. Bloková schéma vidlice je na obrázku.



Bloková schéma použitia diferencialného transformátora v dvojdrôtových vedeniach

Podľa konštrukcie rozlišujeme vidlice:

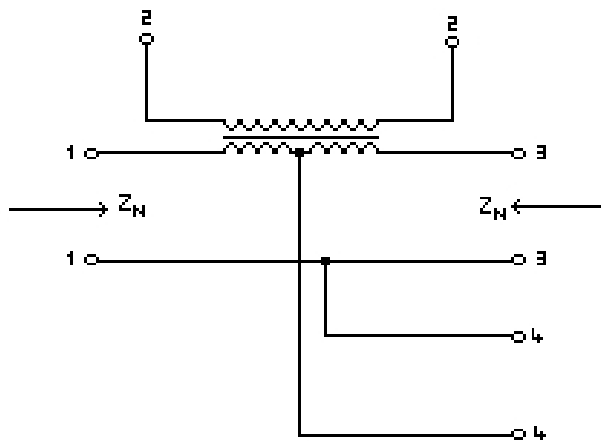
- a) transformátorové
- b) dvojtransformátorové
- c) odporové

Pri meraní na vidlici meriame:

- a) -impedanciu, ktorú zapojíme na svorky 2-2 a 4-4, tak aby celá sústava po zapojení vyvažovača na svorky 3-3 mala na 1-1 impedanciu rovnú impedancii vedenia Z_L .
- b) - prevádzkové tlmenie v prichádzajúcom smere a_{p41}
- prevádzkové tlmenie v odchádzajúcom smere a_{p12}
- prevádzkové tlmenie v oddeľovacom smere a_{p42}

Výpočet impedancií

Pri výpočtoch impedancií Z_2 a Z_4 predpokladáme ideálne transformátory (nulové straty, nekonečná indukčnosť, impedancia vyvažovača Z_N sa zhoduje s impedanciou vedenia Z_L). Schéma jednotransformátorovej vidlice je na obrázku.

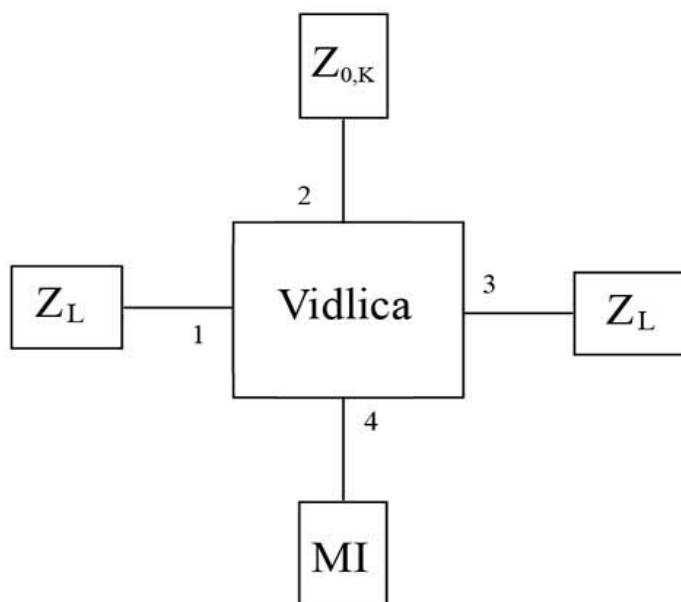
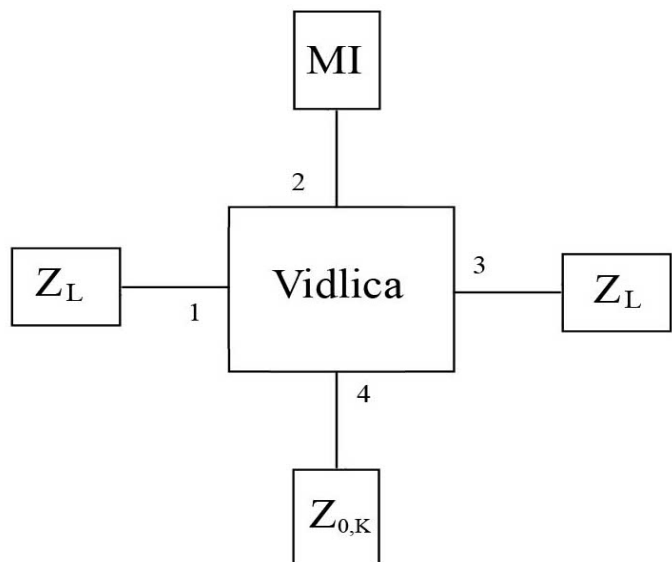


Bloková schéma transformátorovej vidlice

Kde:

- svorky 1-1 : impedancia totožná s impedanciou vedenia Z_L
- svorky 2-2 : vstupná impedancia zosilňovača
- svorky 3-3 : impedancia vyvažovača Z_N
- svorky 4-4 : výstupná impedancia zosilňovača

Na určenie impedancie Z_2 , svorky 1-1 a 3-3 zakončíme impedanciou vedenia $Z_N = Z_L$ a na svorky 2-2 pripojíme merač impedancií. Svorky 4-4 necháme zapojené raz naprázdno a raz na krátko.



Na určenie impedancie Z_4 , svorky 1-1 a 3-3 zakončíme impedanciou vedenia $Z_N = Z_L$ a na svorky 4-4 pripojíme merač impedancií. Svorky 2-2 necháme zapojené raz naprázdno a raz na krátko.

Nech prevod transformátora je: $p_{12} = \frac{n_1}{n_2}$.

Vypočítame impedanciu Z_1 pri svorkách 4-4 naprázdno a nakrátko s tým, že impedanciu Z_2 pretransformujeme na primárnu stranu. Potom:

$$Z_{1(40)} = Z_N + p_{12}^2 \cdot Z_2$$

$$Z_{1(4k)} = \frac{p_{12}^2 \cdot Z_2 \cdot Z_N}{p_{12}^2 \cdot Z_2 + 4 Z_N}$$

Charakteristická impedancia dvojbrány:

$$Z_1 = \sqrt{Z_{1(40)} \cdot Z_{1(4k)}} = \sqrt{\frac{p_{12}^2 \cdot Z_2 \cdot Z_N}{p_{12}^2 \cdot Z_2 + 4 Z_N} \cdot (Z_N + p_{12}^2 \cdot Z_2)}, \text{ pričom } Z_1 = Z_N = Z_L.$$

Po vyjadrení:

$$Z_L^2 = \frac{p_{12}^2 \cdot Z_2 \cdot Z_L}{p_{12}^2 \cdot Z_2 + 4 Z_L} \cdot (Z_L + p_{12}^2 \cdot Z_2)$$

Úpravou dostaneme:

$$Z_2 = \frac{2 Z_L}{p_{12}^2}$$

Podobne vypočítame impedanciu:

$$Z_4 = \frac{Z_L}{2}$$

Prevodový pomer p_{1-2} je prevod transformátora $p_{12} = \frac{n_1}{n_2}$ pričom n_1 a n_2 sú počty závitov transformátora, čiže p_{1-2} by mal byť konštantný.

Pre vstupnú impedanciu Z_2 platí vzťah:

$$Z_2 = \frac{2 Z_L}{p_{12}^2}$$

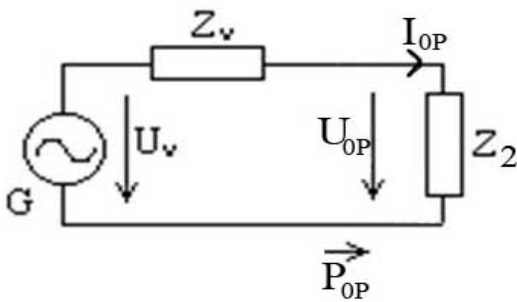
z čoho potom pomer:

$$p_{12} = \sqrt{\frac{2 Z_L}{Z_2}}$$

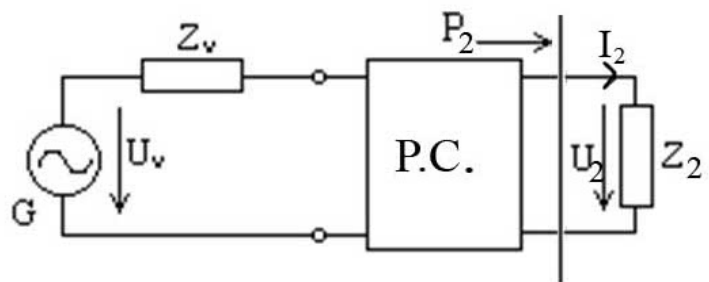
tento prevodový pomer v sebe zahŕňa aj straty v transformátore.

Výpočet prevádzkového tlmenia

Od vidlice vyžadujeme, aby prevádzkové tlmenie v prenosových smeroch bolo čo najmenšie a v oddeľovacom smere čo najväčšie. Pri výpočte vychádzame z porovnávacieho zapojenia a meraného objektu:



Porovnávacie zapojenie



Meraný objekt

$$a_p = \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{P_0}{P} - \text{prevádzkové tlmenie}$$

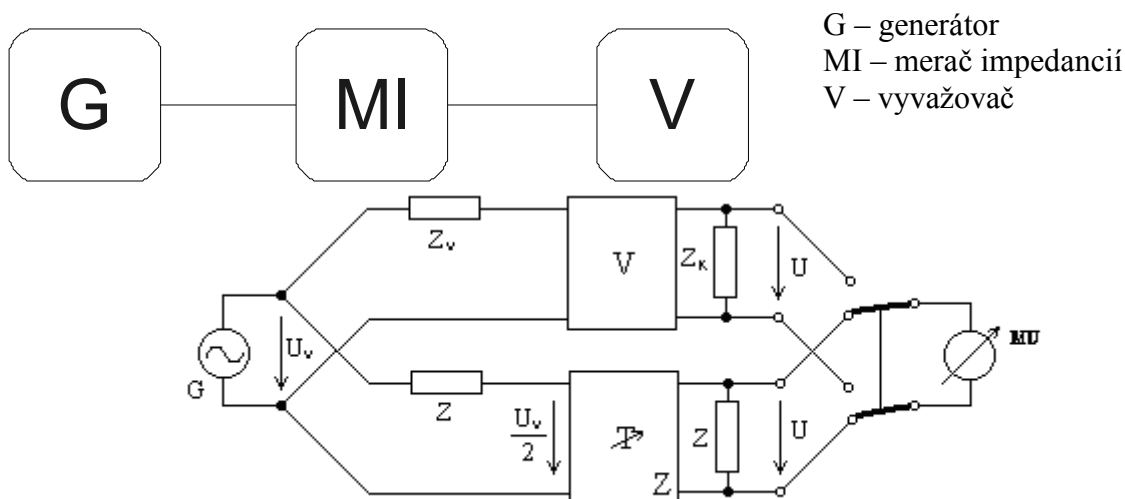
$$P_0 = \frac{U_v^2}{4 Z_v} - \text{výkon dodávaný do meraného objektu}$$

$$P = \frac{U^2}{Z_k} - \text{výkon dodávaný meraným objektom do zát'aže}$$

potom:

$$a_p = \ln \frac{U_V}{2U} + \frac{1}{2} \ln \frac{Z_K}{Z_V}$$

Schéma zapojenia



Bloková schéma pre meranie tlmenia porovnávacou metódou

- G - generátor striedavého signálu
- MÚ - merač úrovne
- V - vidlica
- T - útlmový článok
- Z_V - vstupná impedancia
- Z_k - výstupná impedancia
- Z - vstupná a výstupná impedancia útlmového článku

Riešenie

Úloha č. 1:

Súpis meracích prístrojov:

- generátor Tesla RC OSCILLATOR BM 344
- tranzistorový merač Tesla 12 XL 020
- transformátorová a odporová vidlica

Postup:

Svorky 3-3 sme zakončili charakteristickou impedanciou vedenia $Z_N=600\Omega$, svorky 4-4 sú rozpojené pri meraní Z_{40} a skratované pri meraní Z_{4K} . Na generátore sme nastavili frekvenciu a meračom impedancií sme merali hodnotu impedancie Z_{40} , resp. Z_{4K} . Výslednú hodnotu impedancie Z_2 určíme zo vzťahu:

$$Z_2 = \sqrt{Z_{40} \cdot Z_{4K}}$$

Podobným spôsobom sme odmerali aj impedanciu Z_4 . (svorky 2-2 sú rozpojené pri meraní Z_{20} a skratované pri meraní Z_{2K}).

Vzorový výpočet pre frekvenciu 3 kHz:

$$Z_2 = \sqrt{Z_{40} \cdot Z_{4k}} = \sqrt{706 \cdot 706} = 706 \Omega$$

$$Z_2 = \frac{2 Z_L}{p_{12}^2} \Rightarrow p_{12} = \sqrt{\frac{2 Z_L}{Z_2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 600}{706}} = 1,3$$

Úloha č. 2:

Pre impedanciu Z_2 platí vzťah: $Z_2 = \frac{2 Z_L}{p_{12}^2}$, z čoho potom $p_{12} = \sqrt{\frac{2 Z_L}{Z_2}}$.

Vzorový výpočet pre frekvenciu 3kHz:

$$Z_2 = \frac{2 Z_L}{p_{12}^2} \Rightarrow p_{12} = \sqrt{\frac{2 Z_L}{Z_2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 600}{706}} = 1,3$$

Tabuľka nameraných hodnôt pre úlohu č. 1 a č. 2:

Transformátorová vidlica

f [kHz]	0,1	0,3	1	2	3	5	10
Z_{4k} [Ω]	606	648	660	675	706	764	1025
φ pre Z_{4k} [°]	23	8	6	13	20	31	48,5
Z_{40} [Ω]	604	646	660	675	706	764	1025
φ pre Z_{40} [°]	22	18	6	13	20	31	48,5
Z_2 [Ω]	605	647	660	675	706	764	1025
p_{12}	1,408	1,362	1,348	1,333	1,304	1,253	1,082

f [kHz]	0,1	0,3	1	2	3	5	10
Z_{2k} [Ω]	320	320	324	321	321	321	321
φ pre Z_{2k} [°]	0	0	0	0	0	0	0
Z_{20} [Ω]	320	320	324	321	321	321	321
φ pre Z_{20} [°]	0	0	0	0	0	0	0
Z_4 [Ω]	320	320	324	321	321	321	321

Odporová vidlica

f [kHz]	0,1	0,3	1	2	3	5	10
Z_{4k} [Ω]	624	688	706	706	706	708	600
φ pre Z_{4k} [°]	0	0	0	0	0	0	0
Z_{40} [Ω]	615	690	726	724	724	724	600
φ pre Z_{40} [°]	0	0	0	0	0	10	0
Z_2 [Ω]	619,48	689	715,93	714,94	714,94	715,96	600

f [kHz]	0,1	0,3	1	2	3	5	10
Z_{2k} [Ω]	608	700	700	700	700	700	700
φ pre Z_{2k} [°]	0	1	0	0	0	0	0
Z_{20} [Ω]	615	635	630	720	720	720	720
φ pre Z_{20} [°]	0	0	0	0	0	0	0
Z_4 [Ω]	611,49	666,71	664,08	709,93	709,93	709,93	709,93

Úloha č.3:

Súpis meracích prístrojov:

- generátor Tesla RC OSILLATOR BM 344
- tranzistorový merač úrovni Tesla 12 XN 045A
- ovládací panel Tesla 12 XN 226
- útlmový článok
- odporové dekády A331 a A328

Postup:

Všeobecný vzťah na výpočet a_p sa definuje pomocou dvoch schém: schémy meraného objektu a porovnávacieho zapojenia.

$$a_p = a_0 + k = a_0 + \frac{1}{2} \ln \frac{Z_K}{Z_V}$$

Prvý člen a_0 je možné namerať na útlmovom člene porovnávacou metódou, druhý člen je potrebné vypočítať zo známych hodnôt Z_2 a Z_4 z prvej úlohy, a to pre každý skúmaný smer inak podľa nižšie uvedenej tabuľky vstupných a výstupných impedancií.

Tabuľka vstupných a výstupných impedancií

	Z_V	Z_K
Vysielací smer	$Z_L (600\Omega)$	Z_2
Prijímací smer	Z_4	$Z_L (600\Omega)$
Oddeľovací smer	Z_4	Z_2

Tabuľka nameraných hodnôt:

f [kHz]	Smer 1-2			Smer 4-1			Smer 4-2		
	a_0 [Np]	k	a_p [Np]	a_0 [Np]	k	a_p [Np]	a_0 [Np]	k	a_p [Np]
0,1	0,72	0,0041	0,724	0,41	0,3143	0,724	6,06	0,3185	6,378
0,3	0,69	0,0377	0,728	0,41	0,3143	0,724	6,02	0,3520	6,372
1	0,68	0,0477	0,728	0,42	0,3081	0,728	6,02	0,3557	6,376
2	0,68	0,0589	0,739	0,42	0,3127	0,733	6,03	0,3716	6,402
3	0,68	0,0813	0,761	0,42	0,3127	0,733	6,04	0,3941	6,434
5	0,7	0,1208	0,821	0,43	0,3127	0,743	6,08	0,4336	6,514
10	0,77	0,2678	1,038	0,47	0,3127	0,783	6,26	0,5805	6,841

Vzorový výpočet pre f = 3 kHz pre:

- smer 1-2

$$a_p = a_0 + k = a_0 + \frac{1}{2} \ln \frac{Z_2}{Z_L} = 0,68 + \frac{1}{2} \ln \frac{706}{600} = 0,68 + 0,0813 = \mathbf{0,761 \text{ Np}}$$

- smer 4-1

$$a_p = a_0 + k = a_0 + \frac{1}{2} \ln \frac{Z_L}{Z_4} = 0,42 + \frac{1}{2} \ln \frac{600}{321} = 0,42 + 0,3127 = \mathbf{0,733 \text{ Np}}$$

- smer 4-2

$$a_p = a_0 + k = a_0 + \frac{1}{2} \ln \frac{Z_2}{Z_4} = 6,04 + \frac{1}{2} \ln \frac{706}{321} = 6,04 + 0,3941 = \mathbf{6,434 \text{ Np}}$$

Záver

V prvej úlohe sme merali impedancie Z_2 a Z_4 na transformátorovej a odporovej vidlici na frekvenciách od 0,1kHz až do 10kHz, pričom $Z_L = Z_N = 600\Omega$. Merali sme tak, že sme svorky nechali raz na prázdno a raz na krátko. Pre každý stav sme odmerali impedanciu a fázu. Výslednú impedanciu sme vypočítali podľa vzťahu uvedeného v postupe.

Z nameraných hodnôt vidíme, že impedancia Z_2 je frekvenčne závislá. Jej hodnoty nám vyšli v rozmedzí od 605Ω do 1025Ω . Naopak na impedancii Z_4 vidíme, že nie je závislá od frekvencie a jej hodnoty nám vyšli v rozmedzí od 320Ω do 324Ω . Tento rozdiel je minimálny oproti frekvenčne závislej impedancii Z_2 .

Pri odporovej vidlici sme namerali, že impedancie Z_2 a Z_4 sú frekvenčne nezávislé, aj keď nám tam vyšli mierne skoky. Hodnoty impedancie Z_2 sme namerali v rozmedzí od 600Ω do 716Ω . Hodnoty impedancie Z_4 sme namerali v rozmedzí od 611Ω do 710Ω .

V druhej úlohe sme pre transformátorovú vidlicu a pre každú frekvenciu z prvej úlohy vypočítali prevodový pomer p_{12} . Keďže je impedancia Z_2 frekvenčne závislá, vyšiel nám aj pomer p_{12} frekvenčne závislý. S rastúcou impedanciou Z_2 klesá prevodový pomer od 1,4 do 1,08.

V poslednej tretej úlohe sme merali prevádzkové tlmenie pomocou porovnávacieho zapojenia v prijímacom, vysielačom a oddeľovacom smere. Za nameraných hodnôt sme vypočítali koeficient k a potom z nameranej hodnoty a_0 sme vypočítali prevádzkové tlmenie a_p . Norma vyžaduje, aby vo vysielačom a prijímacom smere bola hodnota prevádzkového tlmenia menšia ako 0,5 Np. V oddeľovacom smere by mala byť hodnota prevádzkového tlmenia väčšia ako 7 Np.

Vo vysielačom smere (1-2) nám vyšli hodnoty v rozmedzí 0,724-1,038 Np, čo ale nespĺňa normu. Taktiež je vidno, že aj hodnoty v prijímacom smere (4-1) nespĺňajú normu, keďže hodnoty sú v rozmedzí 0,724-0,783 Np. V oddeľovacom smere (4-2) nám vyšli hodnoty od 6,372 do 6,841 Np a preto sa vidlica nesmie používať v prevádzke, pretože neboli splnené normy.