

Uso e calcolo degli attenuatori a «T»

prima parte di Luigi BASSETTI

Sono descritte le prestazioni di un attenuatore a «T» considerando le formule e la procedura adottata nel calcolo ed alcuni esempi esplicativi.

Si è tenuto presente inoltre il concetto di trattare lo studio di tale rete nel modo più semplice possibile senza fare ricorso a teorie complesse.

Un attenuatore a «T» è composto da tre resistenze disposte due in serie ed una in parallelo nella forma della lettera «T» (figura 1).

Per gli usi di calcolo si assume quanto segue:

Z_1 = Impedenza (puramente resistiva) del generatore
 Z_2 = Impedenza (puramente resistiva) del carico od utilizzatore

$Z_{(1,2)}$ = Impedenza d'ingresso della rete con il carico (Z_2) collegato

$Z_{(3,4)}$ = Impedenza d'uscita della rete con il generatore (Z_1) collegato

$K = \frac{V_1}{V_2} ; \frac{I_1}{I_2}$ Attenuazione di tensione o di corrente.

La costante (K) riferita alla quantità in decibel è:

$$K = \text{antilog}_{10} \frac{\text{dB}}{20}$$

L'inserimento di un attenuatore di tale tipo in un sistema elettrico viene in genere effettuato per ottenere i seguenti scopi:

- 1 - Attenuazione del livello di trasmissione
- 2 - Adattamento d'impedenza

Di seguito vengono esaminate le possibili condizioni d'inserimento:

A - In un circuito, nel quale le impedenze del generatore (Z_1) e del carico (Z_2) sono uguali

$$Z_1 = Z_2 = Z_0$$

l'attenuatore mantiene inalterato l'adattamento delle impedenze. Di conseguenza si ha:

$$Z_{(1;2)} = Z_{(3;4)} = Z_0$$

e lo scopo dell'inserimento è pertanto quello di ottenere la **voluta attenuazione del livello di trasmissione**.

Per $Z_1 = Z_2$ si ha inoltre l'attenuazione di tensione uguale a quella di corrente.

B - In un circuito, nel quale le impedenze del generatore (Z_1) e del carico (Z_2) non sono uguali

$$Z_1 \neq Z_2$$

l'attenuatore oltre a dare l'**attenuazione voluta**, attua anche l'**adattamento delle impedenze**, quindi si ha:

$$Z_1 = Z_{(1;2)}$$

$$Z_2 = Z_{(3;4)}$$

L'attenuazione e l'adattamento delle impedenze non sono completamente indipendenti fra loro, in quanto per ogni valore positivo del rapporto delle impedenze terminali

$$\frac{Z_1}{Z_2} ; \frac{Z_2}{Z_1}$$

vi è una definita minima attenuazione di corrente, tensione o potenza per le quali la rete può essere calcolata con le caratteristiche sopra accennate.

Se si volesse calcolare una rete con attenuazioni di corrente, tensione o potenza minori di questo valore critico, il calcolo sarebbe impossibile poiché darebbe valori di resistenza negativi. E' necessario quindi, per il calcolo di un attenuatore a «T» dissimmetrico, che l'attenuazione voluta sia sempre superiore a quella minima definita.

C - Per adattamento fra impedenze terminali diverse con la minima attenuazione possibile, l'attenuatore a «T» si trasforma in una rete a due sole resistenze a configurazione ad «L» e precisamente:

per $Z_1 > Z_2$

si ha un attenuatore ad «L» del tipo A (figura 2) (resistenza in serie all'ingresso)

e per $Z_1 < Z_2$

si ha un attenuatore ad «L» del tipo B (figura 3) (resistenza in derivazione all'ingresso).

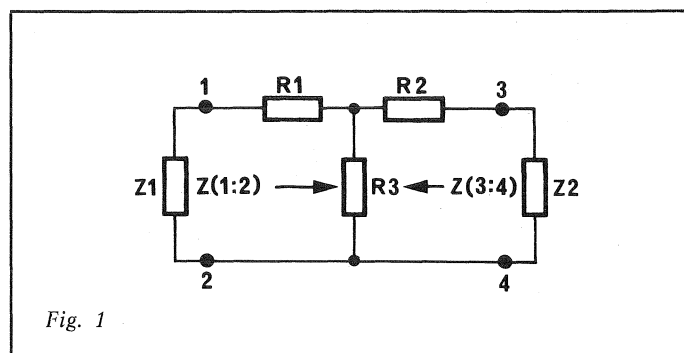


Fig. 1

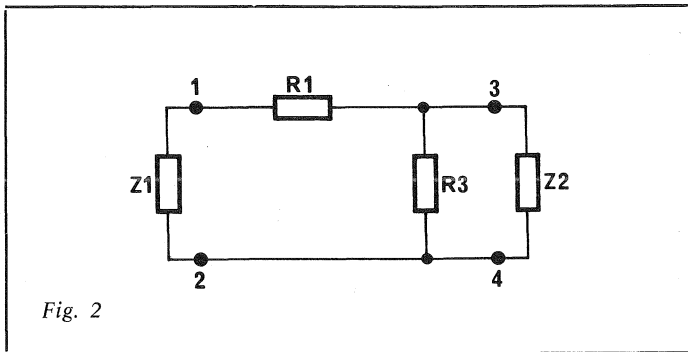


Fig. 2

PROCEDURA DA SEGUIRE PER IL CALCOLO DEGLI ATTENUATORI A «T»

Partendo dai dati di progetto

Z_1 = impedenza del generatore

Z_2 = impedenza del carico

e dall'attenuazione di tensione, corrente o potenza richiesta espressa in decibel, si può procedere come segue:

1 - Scegliere la configurazione più idonea per l'uso a cui l'attenuatore deve essere adibito.

2 - Se le impedenze terminali sono uguali:

$$Z_1 = Z_2 = Z_0$$

con il calcolo o l'apposita tabella 2, trovare il valore di (K) corrispondente alla voluta attenuazione in decibel.

Calcolare quindi i valori delle resistenze degli elementi $R_1 = R_2$ ed R_3 che compongono l'attenuatore usando le apposite formule.

3 - Se le impedenze terminali non sono uguali

$$Z_1 \neq Z_2$$

si deve procedere come segue:

a - Scegliere la configurazione più idonea per l'uso a cui l'attenuatore deve essere adibito.

b - Determinare, in base al tipo di attenuazione richiesta, il valore minimo possibile di essa.

c - Si possono presentare ora tre casi
 — l'attenuazione è minore di quella di progetto
 — l'attenuazione è uguale a quella di progetto
 — l'attenuazione è maggiore di quella di progetto

Nel primo caso, come già accennato precedentemente, il calcolo è impossibile; nel secondo l'attenuatore si riduce ad una rete ad «L»; nel terzo non vi sono eccezioni di calcolo.

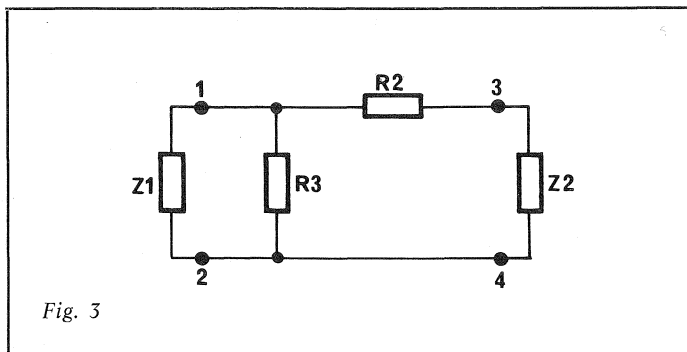


Fig. 3

4 - Stabilita quindi l'attenuazione necessaria all'uso della rete che si deve progettare, si calcolano i valori delle resistenze degli elementi che compongono l'attenuatore usando le formule relative.

5 - Determinare il wattaggio necessario per la potenza dissipata nella rete.

Di norma per ridurre gli effetti del riscaldamento si valuta il wattaggio con un coefficiente di sicurezza variabile dal 50 al 100%.

6 - Scegliere il resistore più idoneo (tipo e valore di resistenza).

I tipi di resistori più usati sono:

a - **Resistori a filo**

costruiti del valore esatto calcolato con fili resistivi isolati di leghe tipo Manganina, Evanohm, Karma ecc. avvolti su appositi supporti con tecniche di avvolgimento speciali per ridurre gli effetti reattivi associati.

b - **Resistori chimici**

tipo a strato metallico, a strato di carbone, a strato d'ossidi metallici ed ad impasto di carbone.

c - **Resistori a filo** laccati o smaltati o vetrificati.

Le tolleranze massime previste sui valori resistivi per i resistori del tipo b) e c) sono in genere dell'ordine dell'1% per la costruzione di attenuatori di precisione e dell'ordine del 5% negli altri casi.

ESEMPI

Problema I

Progettare un attenuatore a «T» per una attenuazione di 20 dB, da inserire in un circuito di trasmissione sbilanciato di 500 Ω d'impedenza.

Soluzione

1 - Scelta della configurazione più idonea.

Data la caratteristica del circuito viene scelto il tipo a configurazione sbilanciata.

2 - Dalla tabella n. 2 si desume il valore di (K) corrispondente alla attenuazione di 20 dB

$$K = 10$$

3 - Dalla tabella n. 1 si desumono le formule per il calcolo

$$R_1 = R_2 = \left(\frac{K+1}{K-1} \right) Z_0$$

$$R_3 = 2 Z_0 \left(\frac{K}{K^2-1} \right)$$

4 - Sostituendo il valore di (K) trovato nelle formule sopra scritte, i valori di $R_1 = R_2$ ed R_3 sono dati come segue:

$$R_1 = R_2 = 500 \times 0,818 = 409 \Omega$$

$$R_3 = 1000 \times 0,101 = 101 \Omega$$

5 - Determinazione del wattaggio

Quando la potenza applicata alla rete è piccola, di norma si prende come base la potenza massima dissipata e si assume tale valore per tutti gli elementi dell'attenuatore.

Amnesso, per esempio, che all'ingresso della rete in oggetto sia applicato una potenza di 0,05 W, dal cal-

TABELLA 1

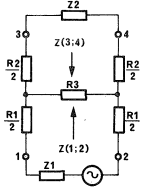
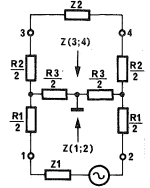
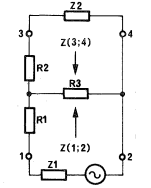
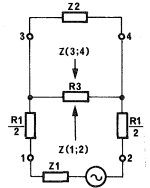
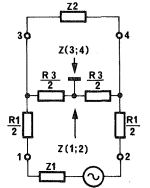
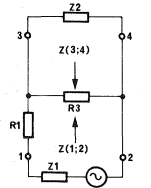
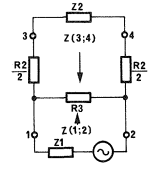
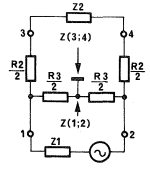
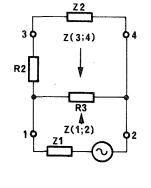
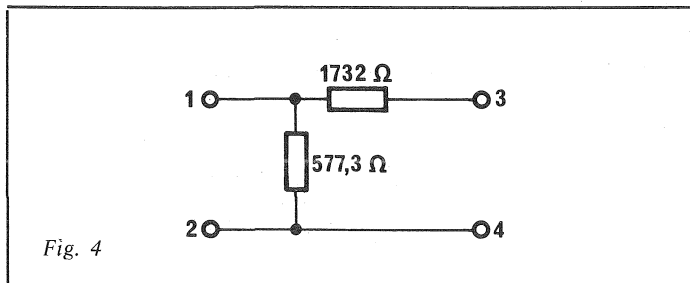
CONFIGURAZIONE			Descrizioni	Formula aritmetica di progetto	Attenuazioni particolari (1) possibilità calcolo
Bilanciato	Bilanciato con centro a terra	Sbilanciato			
			$Z_1 = Z_2 = Z_0$	$R_1 = R_2 = \left(\frac{K-1}{K+1} \right) Z_0$ $R_3 = 2Z_0 \left(\frac{K}{K^2-1} \right)$	$K^{(1)} > 1$
			$Z_1 \neq Z_2$ Attenuazione di corrente	$R_1 = Z_1 - \left(\frac{K-1}{K} \right) \left(\frac{2Z_1 \cdot Z_2}{KZ_1 - \frac{Z_2}{K}} \right)$ $R_2 = (K-1) \left(\frac{2Z_1 \cdot Z_2}{KZ_1 - \frac{Z_2}{K}} \right) - Z_2$ $R_3 = \frac{2Z_1 \cdot Z_2}{KZ_1 - \frac{Z_2}{K}}$	Per $Z_1 > Z_2$ $K^{(1)} > 1 + \sqrt{1 - \frac{Z_2}{Z_1}}$ Per $Z_1 < Z_2$ $K^{(1)} > \frac{Z_2}{Z_1} + \sqrt{\left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^2 - \frac{Z_2}{Z_1}}$
					
			$Z_1 \neq Z_2$ Attenuazione di tensione	$R_1 = Z_1 - \left(\frac{2Z_1 \cdot Z_2}{KZ_2 - \frac{Z_1}{K}} \right) \left(1 - \frac{Z_1}{KZ_2} \right)$ $R_2 = \left(\frac{2Z_1 \cdot Z_2}{KZ_2 - \frac{Z_1}{K}} \right) \left(\frac{KZ_2}{Z_1} - 1 \right) - Z_2$ $R_3 = \frac{2Z_1 \cdot Z_2}{KZ_2 - \frac{Z_1}{K}}$	Per $Z_1 > Z_2$ $K^{(1)} > \frac{Z_1}{Z_2} + \sqrt{\left(\frac{Z_1}{Z_2} \right)^2 - \frac{Z_1}{Z_2}}$ Per $Z_1 < Z_2$ $K^{(1)} > 1 + \sqrt{1 - \frac{Z_1}{Z_2}}$
			$Z_1 \neq Z_2$ Attenuazione di potenza	$R_1 = Z_1 \left(\frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \right) - 2 \sqrt{Z_1 \cdot Z_2} \left(\frac{K}{K^2 - 1} \right)$ $R_2 = Z_2 \left(\frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \right) - 2 \sqrt{Z_1 \cdot Z_2} \left(\frac{K}{K^2 - 1} \right)$ $R_3 = 2 \sqrt{Z_1 \cdot Z_2} \left(\frac{K}{K^2 - 1} \right)$	Per $Z_1 > Z_2$ $K^{(1)} > \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} + \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2} - 1}$ Per $Z_1 < Z_2$ $K^{(1)} > \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1}} + \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1} - 1}$
			$Z_1 > Z_2$ Attenuazione minima	$R_1 = Z_1 \cdot \sqrt{1 - \frac{Z_2}{Z_1}}$ $R_3 = \frac{Z_2}{\sqrt{1 - \frac{Z_2}{Z_1}}}$	Corrente $K = 1 + \sqrt{1 - \frac{Z_2}{Z_1}}$ Tensione $K = \frac{Z_1}{Z_2} + \sqrt{\left(\frac{Z_1}{Z_2} \right)^2 - \frac{Z_1}{Z_2}}$ Potenza $K = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} + \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2} - 1}$
			$Z_1 < Z_2$ Attenuazione minima	$R_2 = Z_2 \sqrt{1 - \frac{Z_1}{Z_2}}$ $R_3 = \frac{Z_1}{\sqrt{1 - \frac{Z_1}{Z_2}}}$	Corrente $K = \frac{Z_2}{Z_1} + \sqrt{\left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^2 - \frac{Z_2}{Z_1}}$ Tensione $K = 1 + \sqrt{1 - \frac{Z_1}{Z_2}}$ Potenza $K = \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1}} + \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1} - 1}$

TABELLA 2

dB	K	K ²	$\frac{K-1}{K+1}$	$\frac{K+1}{K-1}$	$\frac{K}{K^2-1}$	$\frac{K^2+1}{K^2-1}$	dB	dB	K	K ²	$\frac{K-1}{K+1}$	$\frac{K+1}{K-1}$	$\frac{K}{K^2-1}$	$\frac{K^2+1}{K^2-1}$	dB
0.05	1.0057731	1.011579	0.0028783	347.43	86.8618	173.73	0,05	12.5	4.2170	17.783	0.61664	1.6217	0.25127	1.1192	12.5
0.1	1.011579	1.023292	0.0057562	173.73	43.4303	86.866	0.1	13.0	4.4668	19.953	0.63416	1.5769	0.23568	1.1055	13.0
0.2	1.023292	1.047128	0.011512	86.866	21.713	43.437	0.2	13.5	4.7315	22.387	0.65105	1.5360	0.22123	1.0935	13.5
0.3	1.035143	1.071520	0.017268	57.911	14.473	28.965	0.3	14.0	5.0119	25.119	0.66733	1.4985	0.20780	1.0829	14.0
0.4	1.047128	1.096477	0.023022	43.437	10.854	21.730	0.4	14.5	5.3088	28.184	0.68298	1.4642	0.19529	1.0736	14.5
0.5	1.059254	1.12202	0.028774	34.754	8.6810	17.391	0.5	15.0	5.6234	31.623	0.69804	1.4326	0.18363	1.0653	15.0
0.6	1.071520	1.14815	0.034525	28.965	7.2327	14.499	0.6	15.5	5.9566	35.481	0.71250	1.4035	0.17275	1.0580	15.5
0.7	1.083928	1.17490	0.040274	24.830	6.1974	12.435	0.7	16.0	6.3096	39.811	0.72639	1.3767	0.16257	1.0515	16.0
0.8	1.096477	1.20227	0.046019	21.730	5.4209	10.888	0.8	16.5	6.6834	44.668	0.73970	1.3519	0.15305	1.0458	16.5
0.9	1.10917	1.23027	0.051763	19.319	4.8168	9.6853	0.9	17.0	7.0795	50.119	0.75246	1.3290	0.14413	1.04071	17.0
1.0	1.12202	1.25893	0.057502	17.391	4.3335	8.7237	1.0	17.5	7.4989	56.234	0.76468	1.3077	0.13577	1.03621	17.5
1.1	1.13501	1.28825	0.063237	15.814	3.9376	7.9384	1.1	18.0	7.9433	63.096	0.77637	1.2880	0.12792	1.03220	18.0
1.2	1.14815	1.31826	0.068968	14.499	3.6076	7.2842	1.2	18.5	8.4139	70.795	0.78755	1.2698	0.12055	1.02866	18.5
1.3	1.16145	1.34896	0.074695	13.388	3.3283	6.7313	1.3	19.0	8.9125	79.433	0.79823	1.2528	0.11363	1.02550	19.0
1.4	1.17490	1.38038	0.080418	12.435	3.0888	6.2579	1.4	19.5	9.4406	89.125	0.80844	1.2369	0.10713	1.02269	19.5
1.5	1.18850	1.41254	0.086132	11.610	2.8809	5.8480	1.5	20.0	10.0000	100.000	0.81818	1.2222	0.10101	1.02020	20.0
1.6	1.20227	1.44544	0.091846	10.888	2.6991	5.4899	1.6	20.5	10.5925	112.202	0.82747	1.2085	0.095255	1.01799	20.5
1.7	1.21618	1.47911	0.097551	10.251	2.5384	5.1744	1.7	21.0	11.2202	125.893	0.83634	1.1957	0.089841	1.01601	21.0
1.8	1.23027	1.51356	0.103249	9.6853	2.3956	4.8944	1.8	21.5	11.8850	141.254	0.84478	1.1837	0.084739	1.01426	21.5
1.9	1.24452	1.54882	0.108939	9.1794	2.2676	4.6442	1.9	22.0	12.5899	158.49	0.85282	1.1726	0.079935	1.01270	22.0
2.0	1.25893	1.58489	0.11463	8.7241	2.1523	4.4195	2.0	22.5	13.335	177.83	0.86048	1.1621	0.075411	1.011126	22.5
2.2	1.28825	1.65959	0.12597	7.9384	1.9531	4.0322	2.2	23.0	14.125	199.53	0.86777	1.1524	0.071148	1.01007	23.0
2.4	1.31826	1.73780	0.13728	7.2842	1.7867	3.7108	2.4	23.5	14.962	223.87	0.87470	1.1432	0.067133	1.00897	23.5
2.5	1.33352	1.77828	0.14293	6.9966	1.7133	3.5698	2.5	24.0	15.849	251.19	0.88130	1.1347	0.063348	1.00799	24.0
2.6	1.34896	1.81970	0.14856	6.7313	1.6457	3.4399	2.6	24.5	16.788	281.84	0.88756	1.1267	0.059778	1.00712	24.5
2.8	1.38038	1.90546	0.15980	6.2579	1.5245	3.2088	2.8	25.0	17.783	316.23	0.89352	1.1192	0.056413	1.00634	25.0
3.0	1.41254	1.99526	0.17100	5.8480	1.4192	3.0095	3.0	25.5	18.836	354.81	0.89917	1.1121	0.053238	1.00565	25.5
3.2	1.44544	2.08930	0.18215	5.4899	1.3269	2.8360	3.2	26.0	19.953	398.11	0.90455	1.1055	0.050246	1.00504	26.0
3.4	1.47911	2.18776	0.19326	5.1744	1.2453	2.6838	3.4	26.5	21.135	446.68	0.90965	1.0993	0.047422	1.00449	26.5
3.5	1.49623	2.2387	0.19879	5.0304	1.2079	2.6147	3.5	27.0	22.387	501.19	0.91448	1.0935	0.044757	1.00400	27.0
3.6	1.51356	2.2909	0.20432	4.8944	1.1725	2.5493	3.6	27.5	23.714	562.34	0.91907	1.0881	0.042245	1.00356	27.5
3.8	1.54882	2.3988	0.21532	4.6442	1.1072	2.4298	3.8	28.0	25.119	630.96	0.92343	1.0829	0.039874	1.00317	28.0
4.0	1.58489	2.5119	0.22627	4.4194	1.0485	2.3229	4.0	28.5	26.607	707.95	0.92755	1.0781	0.037636	1.00283	28.5
4.5	1.67880	2.8184	0.25340	3.9464	0.92323	2.0999	4.5	29.0	28.184	794.33	0.93147	1.0736	0.035526	1.00252	29.0
5.0	1.77828	3.1623	0.28013	3.5698	0.82241	1.9249	5.0	29.5	29.854	891.25	0.93518	1.0693	0.033534	1.00225	29.5
5.5	1.88365	3.5481	0.30643	3.2633	0.73922	1.7849	5.5	30.0	31.623	1,000.0	0.93869	1.0653	0.031655	1.00200	30.0
6.0	1.99526	3.9811	0.33228	3.0095	0.66932	1.6709	6.0	31.0	35.481	1,258.9	0.94518	1.0580	0.028207	1.00159	31.0
6.5	2.1135	4.4668	0.35764	2.7961	0.60964	1.5769	6.5	31.5	37.584	1,412.5	0.94817	1.0547	0.026627	1.00142	31.5
7.0	2.2387	5.0119	0.38246	2.6146	0.55801	1.4985	7.0	32.0	39.811	1,584.9	0.95099	1.0515	0.025135	1.00126	32.0
7.5	2.3714	5.6234	0.40677	2.4584	0.51291	1.4326	7.5	33.0	44.668	1,995.3	0.95621	1.0458	0.022398	1.00100	33.0
8.0	2.5119	6.3096	0.43051	2.3228	0.47309	1.3767	8.0	34.0	50.119	2,511.9	0.96088	1.04072	0.019961	1.00080	34.0
8.5	2.6607	7.0795	0.45366	2.2043	0.43765	1.3290	8.5	34.5	53.088	2,818.4	0.96302	1.03840	0.018843	1.00071	34.5
9.0	2.8184	7.9433	0.47622	2.0999	0.40592	1.2880	9.0	35.0	56.234	3,162.3	0.96506	1.03621	0.017788	1.00063	35.0
9.5	2.9854	8.9125	0.49817	2.0074	0.37730	1.2528	9.5	36.0	63.096	3,981.1	0.96880	1.03221	0.015853	1.00050	36.0
10.0	3.1623	10.000	0.51950	1.9249	0.35137	1.2222	10.0	37.0	70.795	5,011.9	0.97214	1.02866	0.014128	1.00040	37.0
10.5	3.3497	11.220	0.54020	1.8512	0.32775	1.1957	10.5	37.5	74.989	5,623.4	0.97368	1.02703	0.013338	1.00036	37.5
11.0	3.5481	12.589	0.56026	1.7849	0.30616	1.1726	11.0	38.0	79.433	6,309.6	0.97513	1.02550	0.012591	1.00032	38.0
11.5	3.7584	14.125	0.57969	1.7251	0.28635	1.1524	11.5	39.0	89.125	7,943.3	0.97781	1.02270	0.0112216	1.00025	39.0
12.0	3.9811	15.849	0.59848	1.6709	0.26811	1.1347	12.0	40.0	100.000	10,000.	0.98020	1.02020	0.0100010	1.00020	40.0



colo si deduce che la potenza massima è dissipata in R_1

$$R_1 = 0,03 \text{ W circa}$$

ed assumendo un coefficiente di sicurezza del 100%, si avrà

$$R_1 = 0,06 \text{ W}$$

6 - Scelta del tipo di resistore

Si possono usare resistori commerciali a strato metallico o a strato di carbone da 1/16 di watt, con tolleranze del 5% e del valore resistivo nominale unificato di:

$$R_1 = R_2 = 390 \text{ } \Omega \text{ e } R_3 = 100 \text{ } \Omega$$

Praticamente si utilizza, in base alla tolleranza, il valore resistivo che più si avvicina a quello trovato dal calcolo.

Problema 2

Progettare un attenuatore a «T» dissimetrico per una attenuazione di **20 dB di potenza** da inserirsi tra un circuito bilanciato avente una impedenza di $Z_1 = 500 \text{ } \Omega$ ed un circuito con una impedenza di $Z_2 = 200 \text{ } \Omega$.

Soluzione

- 1 - Data la caratteristica del circuito si sceglie il tipo a configurazione bilanciata.
- 2 - Dalla tabella n. 2 si desume il valore di (K) corrispondente alla attenuazione di 20 dB.

$$K = 10$$

- 3 - Si determina ora l'attenuazione minima di potenza, essendo $Z_1 > Z_2$ si utilizza la formula (tabella n. 1)

$$K = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} + \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} - 1$$

e sostituendo in essa i valori noti si ha:

$$K = 2,8$$

corrispondente in dB a

$$\text{dB} = 20 \log_{10} 2,8$$

$$\text{dB} = 8,9$$

- 4 - Essendo l'attenuazione di progetto maggiore di quella minima, il calcolo è possibile. Dalla tabella n. 1 si desumano quindi le formule relative

$$R_3 = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2} \left(\frac{K}{K^2 - 1} \right)$$

$$R_2 = Z_1 \left(\frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \right) - R_3$$

$$R_1 = Z_2 \left(\frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \right) - R_3$$

sostituendo in esse i valori noti si ha:

$$R_3 = 632,4 \times 0,101 = 63,9 \Omega$$

$$R_2 = 200 \times 1,02 - 63,9 = 140,1 \Omega$$

$$R_1 = 500 \times 1,02 - 63,9 = 446,1 \Omega$$

Problema 3

Progettare un attenuatore a «T» dissimetrico per una attenuazione di **20 dB di tensione** da inserirsi tra un circuito sbilanciato avente una impedenza di $Z_1 = 500 \Omega$ ed un circuito avente $Z_2 = 2000 \Omega$.

Soluzione

1 - Data la caratteristica del circuito si sceglie il tipo a configurazione sbilanciata.

2 - Dalla tabella n. 2 si desume il valore di (K) corrispondente alla attenuazione di 20 dB

$$K = 10$$

3 - Si determina ora l'attenuazione minima possibile di tensione, essendo $Z_1 < Z_2$ si utilizza la formula (tabella n. 1)

$$K = 1 + \sqrt{1 - \frac{Z_1}{Z_2}}$$

$$K = 1,866$$

$$\text{dB} = 5,42$$

4 - Essendo l'attenuazione di progetto maggiore di quella minima, il calcolo è possibile. Dalla tabella n. 1 si desumano quindi le formule relative

$$R_3 = \frac{2 Z_1 \cdot Z_2}{K Z_2 - \frac{Z_1}{K}}$$

$$R_2 = R_3 \left(\frac{K Z_2}{Z_1} - 1 \right) - Z_2$$

$$R_1 = Z_1 - R_3 \left(1 - \frac{Z_1}{K Z_2} \right)$$

sostituendo in esse i valori noti si ha:

$$R_3 = 100,2 \Omega \quad R_2 = 1907,8 \Omega \quad R_1 = 402,3 \Omega$$

Problema 4

Con i dati esposti nel problema 3 si calcoli un attenuatore che attui l'adattamento d'impedenza fra i due circuiti con la minima attenuazione possibile.

Soluzione

Essendo $Z_1 < Z_2$ l'attenuatore sarà del tipo ad «L» con resistenza d'ingresso in derivazione, si utilizzano pertanto le seguenti formule dedotte dalla tabella n. 1

$$R_2 = Z_2 \sqrt{1 - \frac{Z_1}{Z_2}}$$

$$R_3 = \frac{Z_1}{\sqrt{1 - \frac{Z_1}{Z_2}}}$$

e sostituendo in esse i valori noti si ha:

$$R_2 = 1732 \Omega$$

$$R_1 = 577,3 \Omega$$

L'inserimento di tale rete (figura 4) nel circuito attua le seguenti attenuazioni:

- attenuazione di potenza = 11,43 dB
- attenuazione di tensione = 5,42 dB
- attenuazione di corrente = 17,45 dB

Uso e calcolo degli attenuatori a «T»

seconda parte di Luigi BASSETTI

Nel presente lavoro sono descritti i nomogrammi che permettono il calcolo rapido-approssimativo degli elementi degli attenuatori a «T».

NOMOGRAMMA N. 1

Permette di calcolare i valori delle resistenze degli elementi R_1 , R_2 ed R_3 di un attenuatore a «T» simmetrico (Z_1 , Z_2 e Z_0) per qualsiasi valore dell'impedenza Z_0 e per l'attenuazione (K) compresa fra 1 e 40 dB.

Esempio

Progettare un attenuatore a «T» per una attenuazione di 20 dB, da inserirsi in un circuito di trasmissione di 500 Ω d'impedenza.

Soluzione

Stabilito sulla scala Z_0 , estesa a 10^2 , il punto corrispondente al valore di 500 Ω ed in quella delle attenuazioni i punti rispettivamente relativi a 20 dB per R_1 , R_2 ed R_3 , si congiungano i due punti con una retta che prolungata incontrerà la scala (estesa anch'essa a 10^2) dei valori delle resistenze.

Il punto d'incontro darà il valore cercato.

Nell'esempio sopra menzionato si avrà circa:

$$\begin{aligned} R_1, R_2 &= 410 \Omega \\ R_3 &= 100 \Omega \end{aligned}$$

NOMOGRAMMA N. 2

Permette di calcolare direttamente in dB la minima attenuazione possibile di potenza per adattare due circuiti aventi impedenza diversa ($Z_1 - Z_2$) per qualsiasi valore delle impedenze Z_1 e Z_2 comprese fra 10 Ω e 10 k Ω .

L'uso del nomogramma è chiaramente spiegato nel diagramma chiave.

NOMOGRAMMA N. 3

Permette di calcolare il valore della resistenza dell'elemento R_3 di un attenuatore a «T» del tipo dissimetrico inserito fra impedenze terminali diverse ($Z_1 - Z_2$), per qualsiasi valore delle impedenze Z_1 e Z_2 comprese fra 10 Ω e 10 k Ω e per l'attenuazione di potenza da 1 a 40 dB.

Esempio

Calcolare il valore della resistenza R_3 di un attenuatore a «T» dissimetrico con una attenuazione di 20 dB di potenza da inserirsi tra un circuito avente una impedenza di $Z_1 = 500 \Omega$ ed un circuito con una impedenza di $Z_2 = 200 \Omega$.

Soluzione

Prima di procedere al calcolo è necessario stabilire se l'attenuazione richiesta risponde al requisito di essere maggiore di quella minima possibile.

Dal nomogramma n. 2, con i dati del problema, si determina tale valore minimo che risulta essere uguale a circa 9 dB.

Si desume quindi che l'attenuatore può essere progettato. Stabilito sulle scale di Z_1 e Z_2 del nomogramma i valori dati, si congiungano con una retta i punti corrispondenti.

Si segnerà sull'asse d'unione il punto d'incontro con tale retta, indi si unirà con un'altra retta tale punto con l'altro corrispondente all'attenuazione in dB voluta, il prolungamento di tale retta incontrerà la scala dei valori della resistenza.

Nell'esempio sopra citato il punto d'incontro darà il valore cercato che risulta essere di circa:

$$R_3 = 64 \Omega$$

NOMOGRAMMA N. 4

Permette di calcolare i valori delle resistenze degli elementi R_1 ed R_2 di un attenuatore a «T» del tipo dissimetrico inserito fra impedenze terminali diverse ($Z_1 - Z_2$), per qualsiasi valore delle impedenze Z_1 e Z_2 e per l'attenuazione di potenza compresa fra 1 e 20 dB.

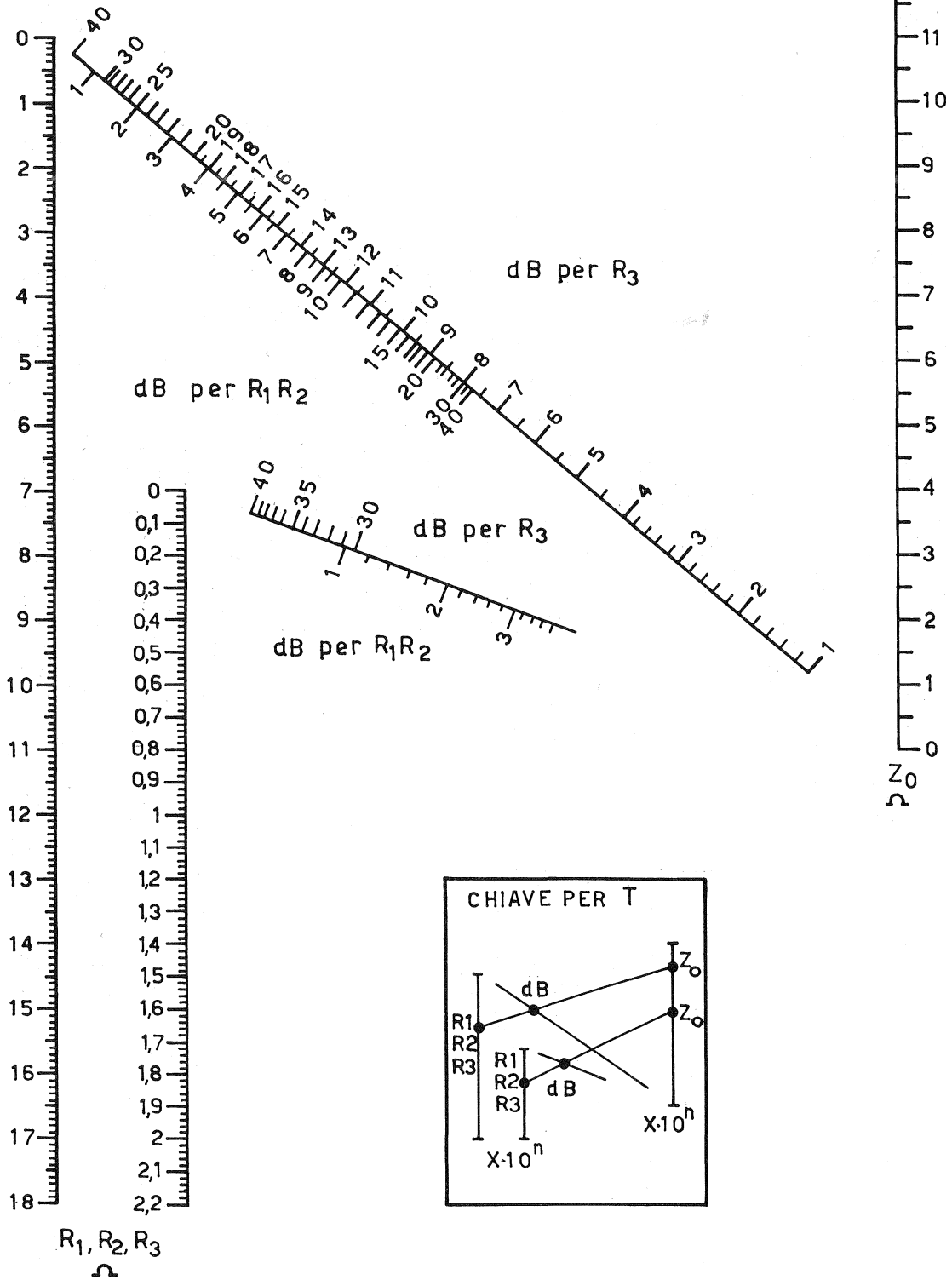
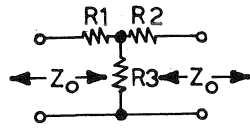
Per attenuazioni maggiori di 20 dB, si può utilizzare lo stesso nomogramma sul limite di 20 dB, in quanto R_1 e R_2 per qualsiasi valore superiore a 20 dB subiscono variazioni minime del loro valore e comunque inferiori all'approssimazione di lettura del nomogramma stesso.

Esempio

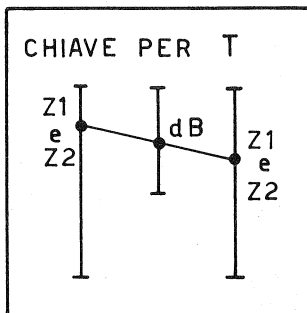
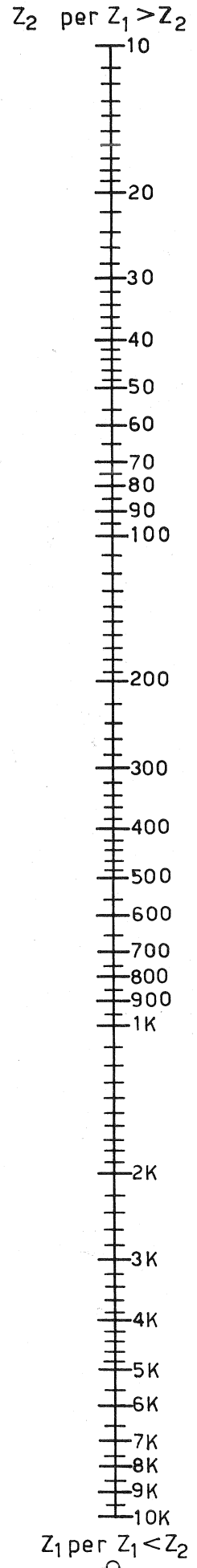
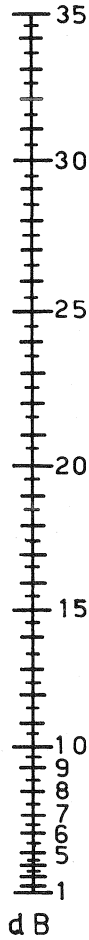
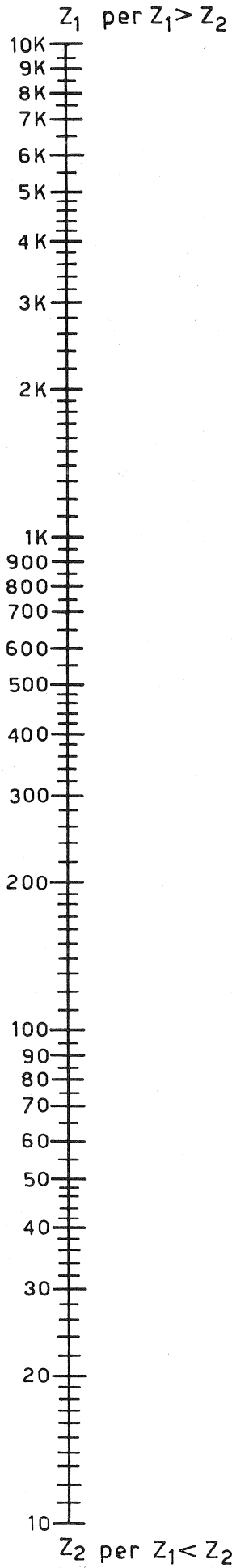
Calcolare il valore delle resistenze R_1 e R_2 di un attenuatore a «T» dissimetrico avente le stesse caratteristiche di quello contemplato nell'esempio precedente.

Soluzione

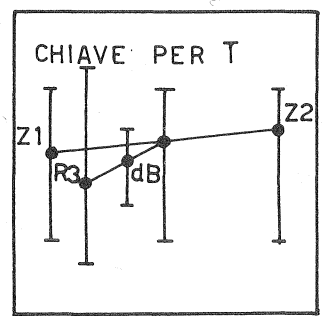
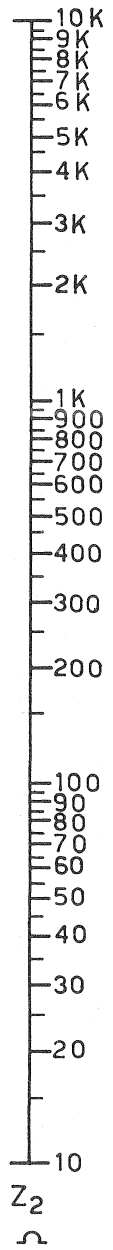
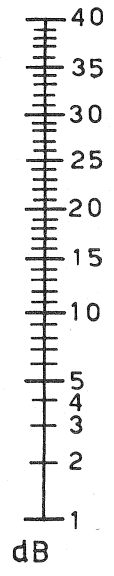
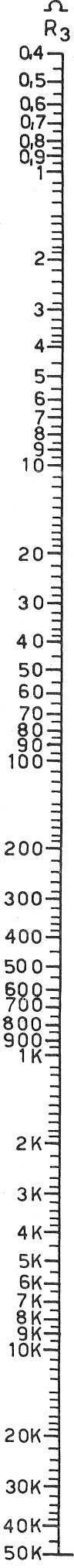
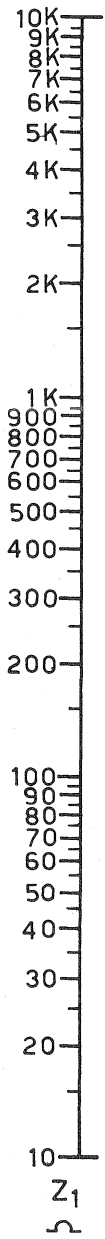
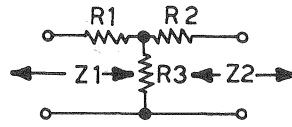
Stabilito sulla scala delle Z_1 , Z_2 del nomogramma, estesa a 10^2 , i punti corrispondenti ai valori di 500 Ω e 200 Ω ed in quella delle attenuazioni il punto corrispondente a 20 dB, si congiungano i punti con una retta (una per Z_1 ed un'altra per Z_2) che prolungate incontreranno l'asse d'unione.



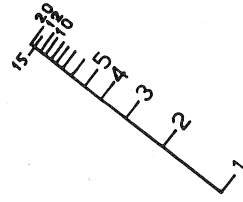
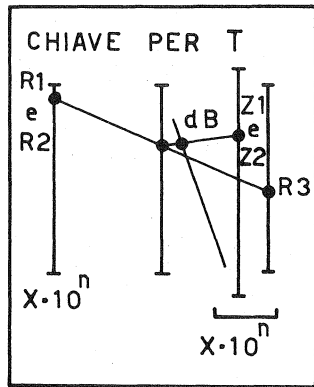
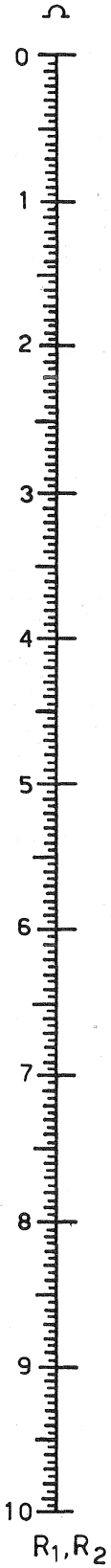
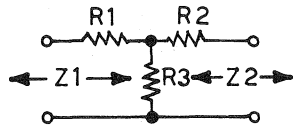
2



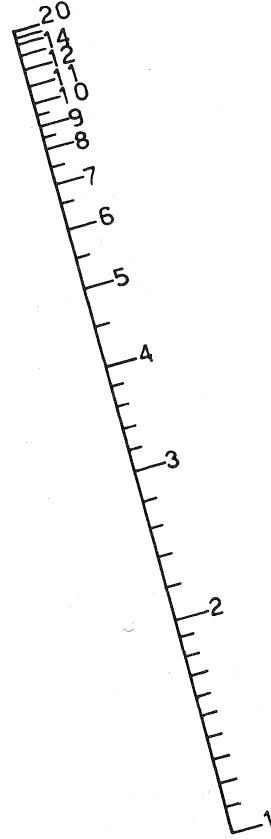
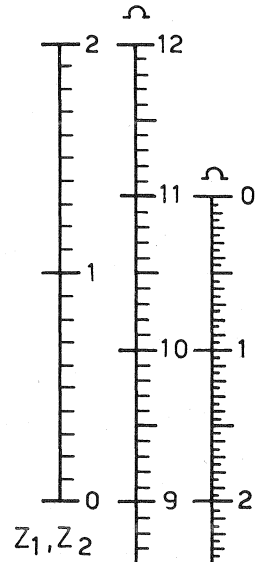
3



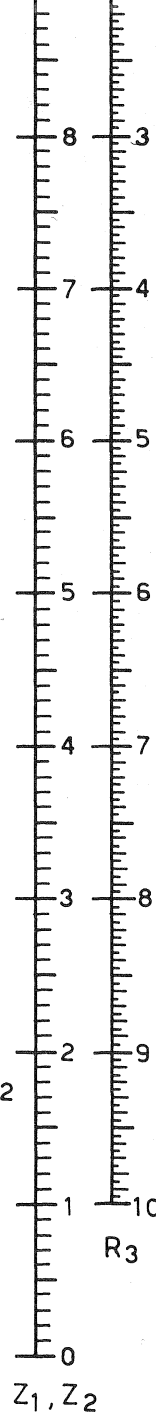
4



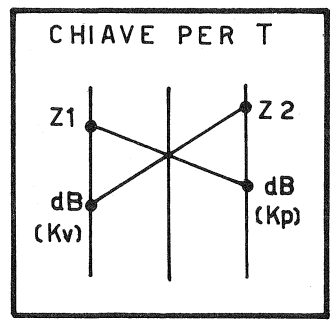
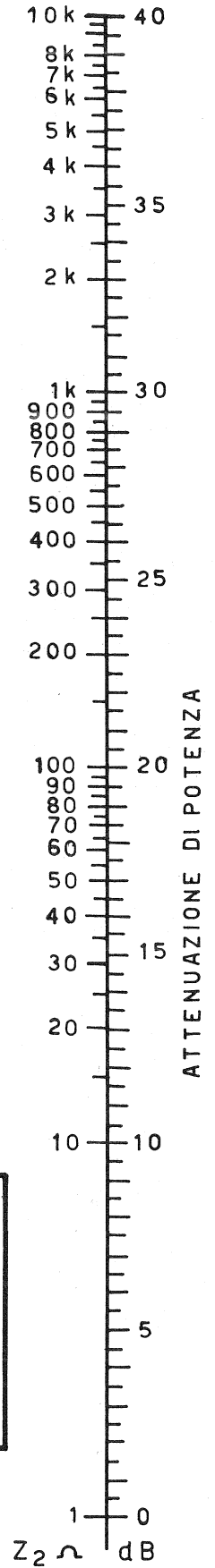
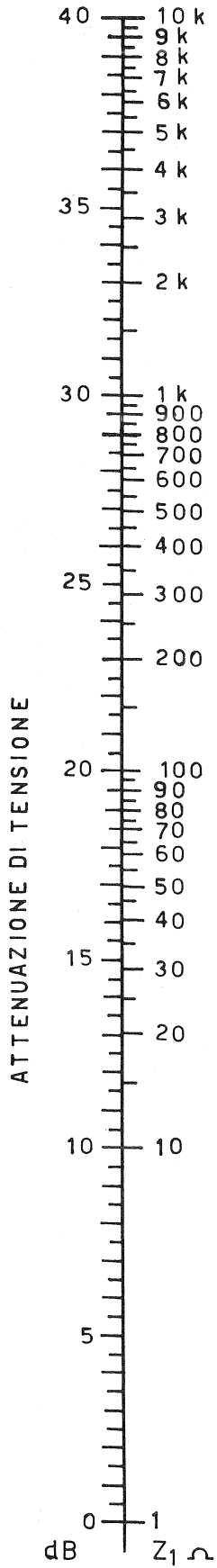
dB per Z₁, Z₂



dB per Z₁, Z₂



5



Indi si stabilisce sulla scala R_3 , estesa anch'essa a 10^2 , il punto corrispondente al suo valore trovato precedentemente, si congiunge tale punto con quelli segnati sull'asse d'unione, i prolungamenti delle due rette incontreranno la scala (estesa anch'essa a 10^2) dei valori delle resistenze.

I punti d'incontro daranno i valori cercati.

Nell'esempio sopra citato si avrà circa:

$$R_1 = 445 \Omega$$

$$R_2 = 140 \Omega$$

NOMOGRAMMA N. 5

Consente di calcolare per qualsiasi valore delle impedenze Z_1 e Z_2 comprese fra 1Ω e $10 \text{ k}\Omega$ la corrispondenza in dB fra l'attenuazione di TENSIONE e quella di POTENZA.

Tale nomogramma permette quindi di utilizzare quelli n. 3 e n. 4 per il calcolo degli elementi di un attenuatore a «T» dissimetrico per valori di ATTENUAZIONE DI TENSIONE.

L'uso del nomogramma è chiaramente spiegato nel diagramma chiave.

Esempio

Progettare un attenuatore a «T» dissimetrico per una attenuazione di 20 dB di tensione, da inserirsi tra un circuito avente una impedenza $Z_1 = 500 \Omega$ ed un circuito avente $Z_2 = 2000 \Omega$.

Soluzione

Per il calcolo dei valori degli elementi R_1 , R_2 , R_3 che compongono l'attenuatore si procede come segue:

1 - Dal nomogramma n. 5 si determina la corrispondenza fra l'attenuazione di tensione e quella di potenza: a 20 dB di tensione corrisponde 26 dB di potenza;

2 - Dal nomogramma n. 2 si controlla la possibilità di calcolo: essendo l'attenuazione data maggiore di quella minima consentita, il calcolo è possibile

$$\text{dB } 26 > \text{dB } 11,5$$

3 - Dal nomogramma n. 3 si calcola il valore di R_3 per 26 dB di attenuazione

$$R_3 = 100 \Omega \text{ circa}$$

4 - Dal nomogramma n. 4, si calcolano i valori di R_1 e R_2 per 26 dB di attenuazione e per R_3 uguale a 100Ω

$$R_1 = 400 \Omega$$

$$R_2 = 1900 \Omega$$

ALTRI ESEMPI SULL'USO DEI NOMOGRAMMI DESCRITTI

Esempio n. 1

Con i dati esposti nell'esempio del nomogramma n. 5 si calcoli un attenuatore che attui l'adattamento d'impedenza fra i due circuiti con la minima attenuazione possibile.

Soluzione

1 - Dal nomogramma n. 2 si è visto che la minima attenuazione di potenza è uguale a circa:

$$11,5 \text{ dB}$$

2 - Essendo $Z_1 < Z_2$ l'attenuatore sarà del tipo ad «L» con resistenza d'ingresso in derivazione

3 - Dal nomogramma n. 3 si calcola il valore di R_3 per 11,5 dB di attenuazione

$$R_3 = 580 \Omega$$

4 - Dal nomogramma n. 4 si calcola il valore di R_2 per 11,5 dB di attenuazione e per $R_3 = 580 \Omega$

$$R_2 = 1700 \Omega$$

Esempio n. 2

Determinare l'attenuazione di tensione dell'attenuatore calcolato precedentemente.

Soluzione

Dal nomogramma n. 5 si calcola la corrispondenza fra l'attenuazione data e quella di tensione.

A 11,5 dB di potenza corrisponde una attenuazione di tensione di 5,5 dB.

Nota: Per gli esempi 1 e 2 rivedere quanto accennato nella **prima parte** del presente lavoro.