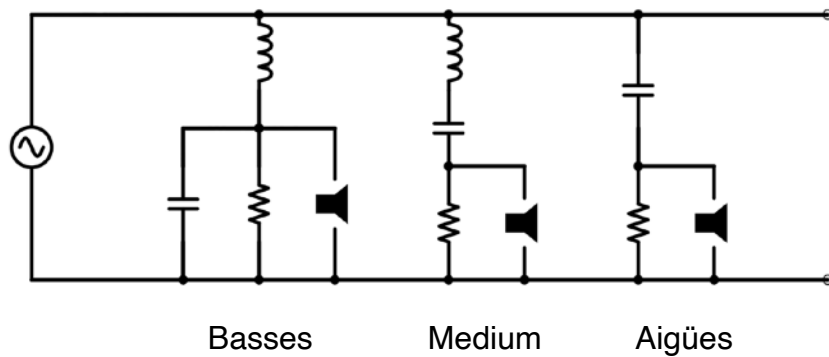


Expérimentation sur les circuits - II

Dipôles et quadripôles

D. Mari

EPFL

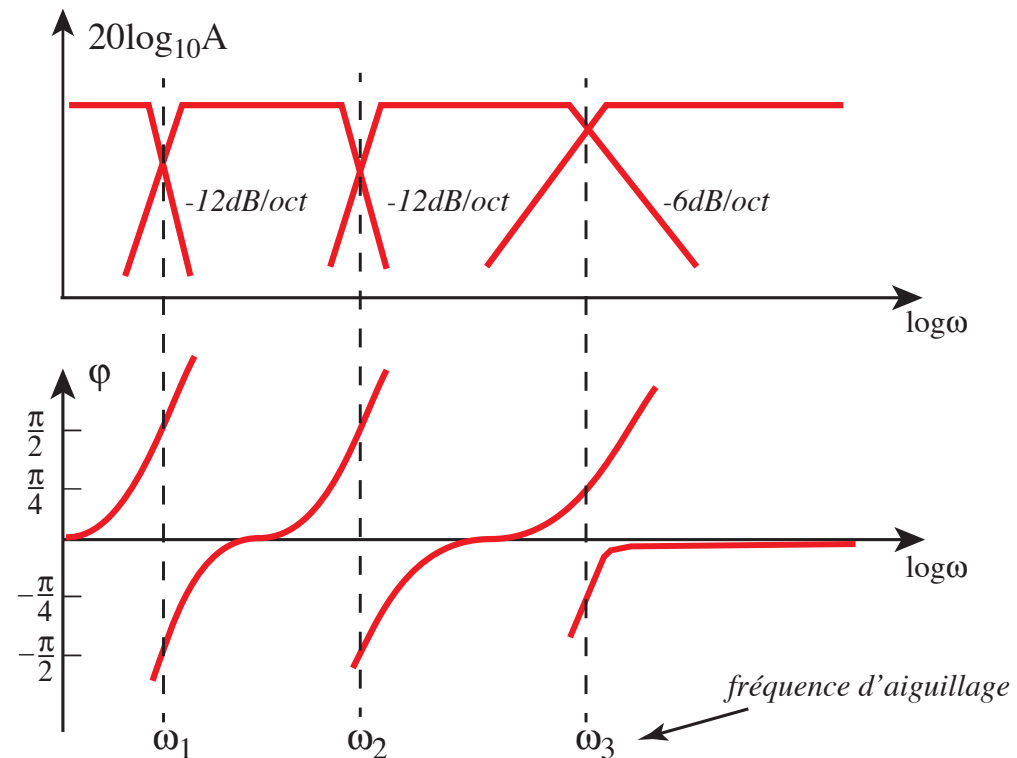
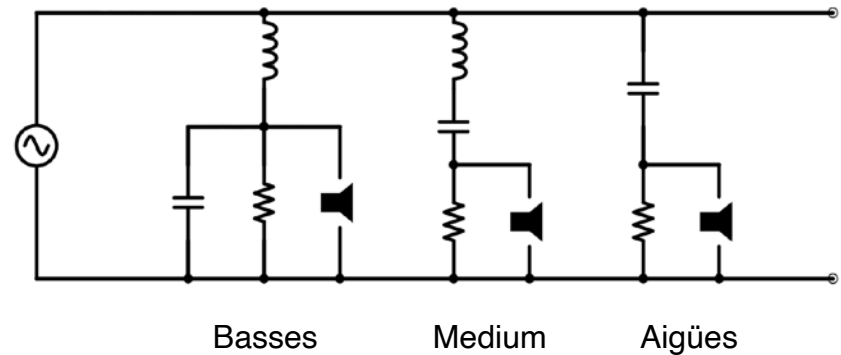


Les colonnes sonores



Pour aiguiller le son sur chaque haut-parleur (basse, médium, aigu) de la colonne, on utilise des **filtres passifs d'aiguillage** composés de résistances, inductances et condensateurs

Exemple de filtres d'aiguillage



Les filtres passifs

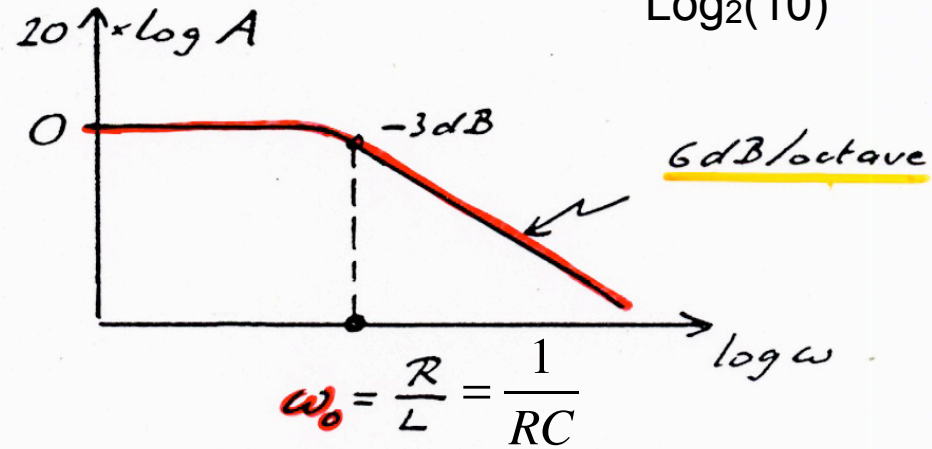
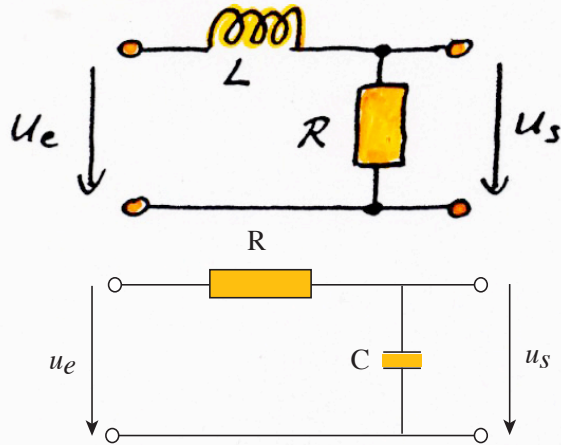
Filtres passe-bas

Note: 6 dB/octave=20dB/décade
Ou dB/décade=3.32dB/octave



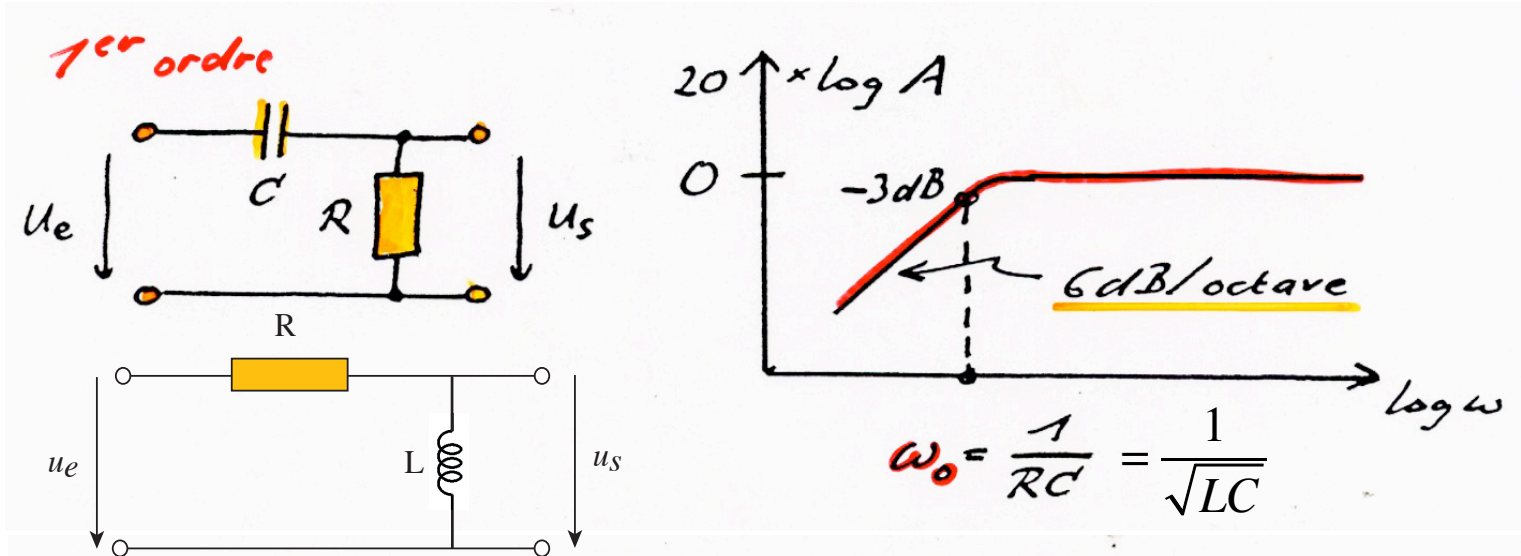
$\text{Log}_2(10)$

1er ordre



Les filtres passifs

Filtres passe-haut



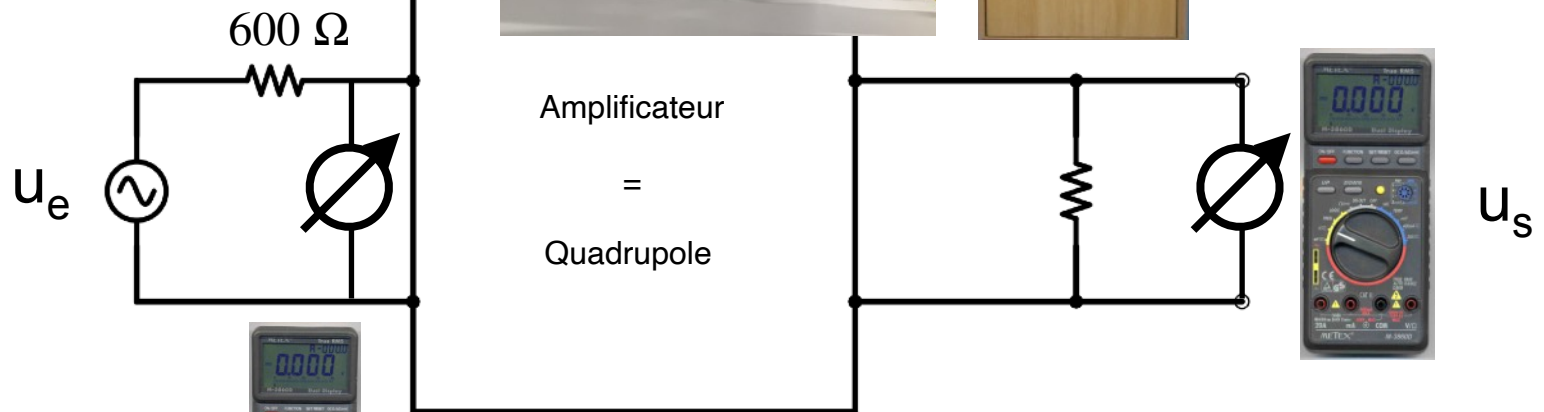
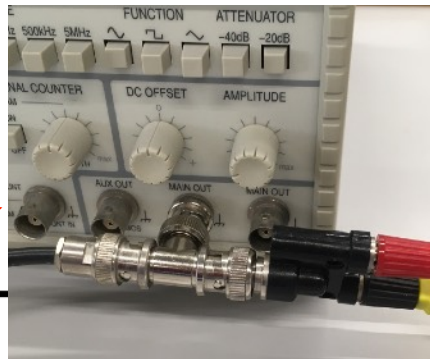
1) Réponse d'un quadripôle actif: l'ampli HI-FI

Effectuez le montage suivant (sortie du générateur de fonction sur **600Ω et -20 dB**). Réglez la sortie du générateur de fonction tel que,

à 1 kHz : $u_e(\text{RMS}) \approx 100 \text{ mV}$

Régalez le volume de l'ampli tel que la sortie soit à 1 kHz:

$u_s(\text{RMS}) \approx 20 \text{ mV}$



Sortie 1 canal (R/L) et A ou B



Entrée 1 canal (R/L)

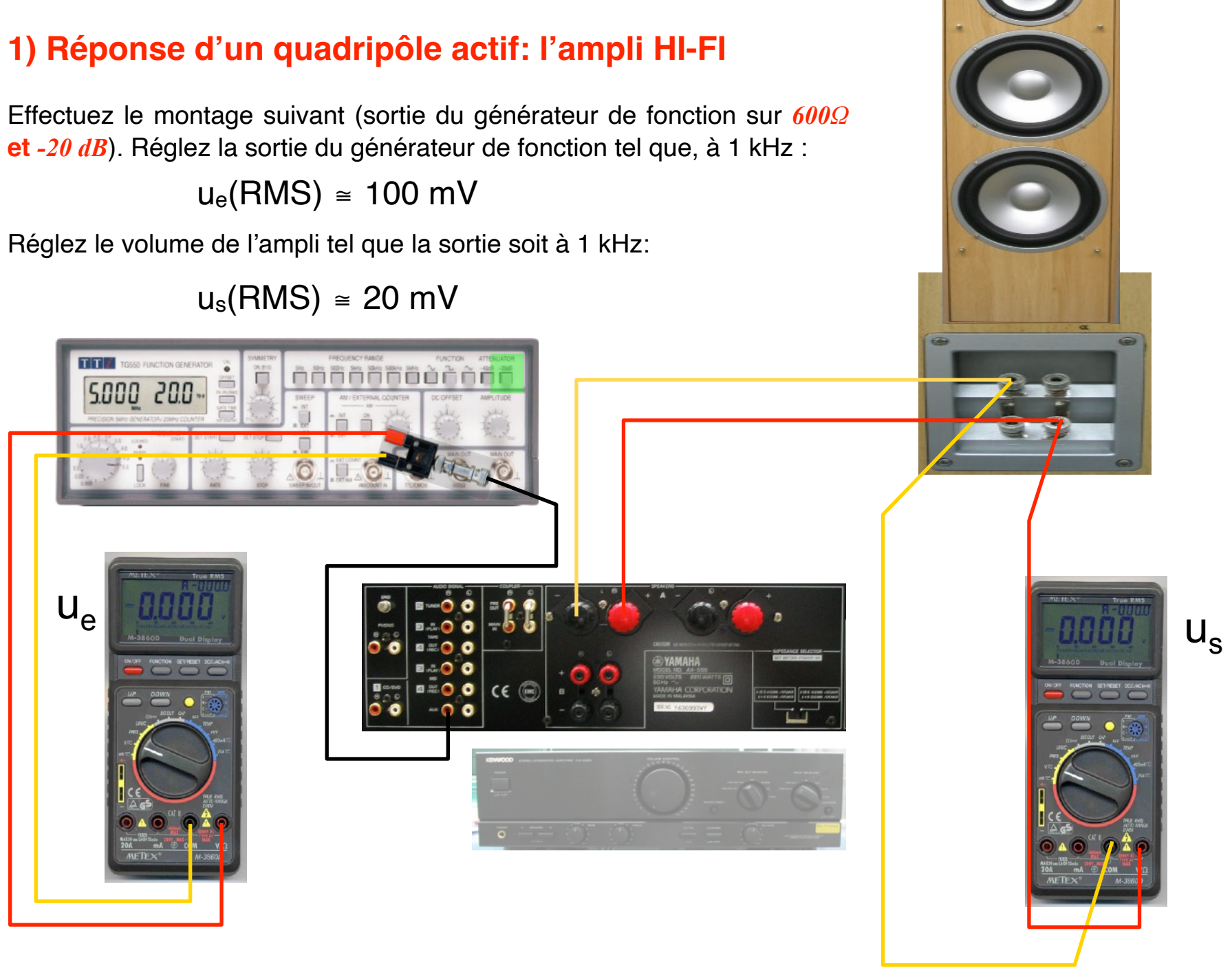
1) Réponse d'un quadripôle actif: l'ampli HI-FI

Effectuez le montage suivant (sortie du générateur de fonction sur **600Ω** et **-20 dB**). Réglez la sortie du générateur de fonction tel que, à 1 kHz :

$$u_e(\text{RMS}) \approx 100 \text{ mV}$$

Régalez le volume de l'ampli tel que la sortie soit à 1 kHz:

$$u_s(\text{RMS}) \approx 20 \text{ mV}$$



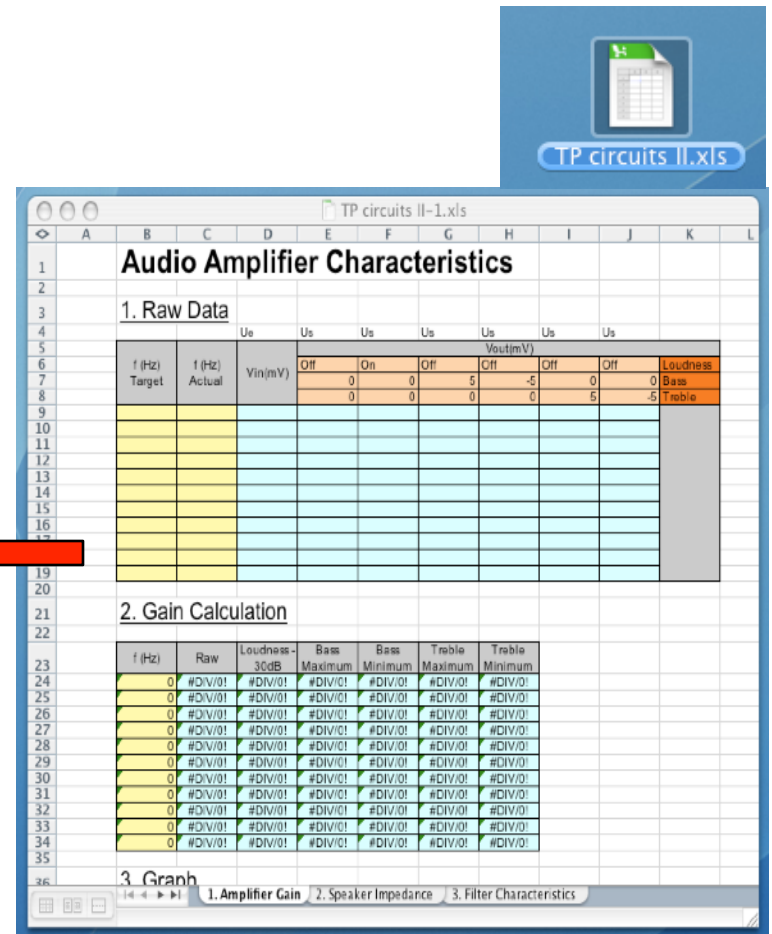
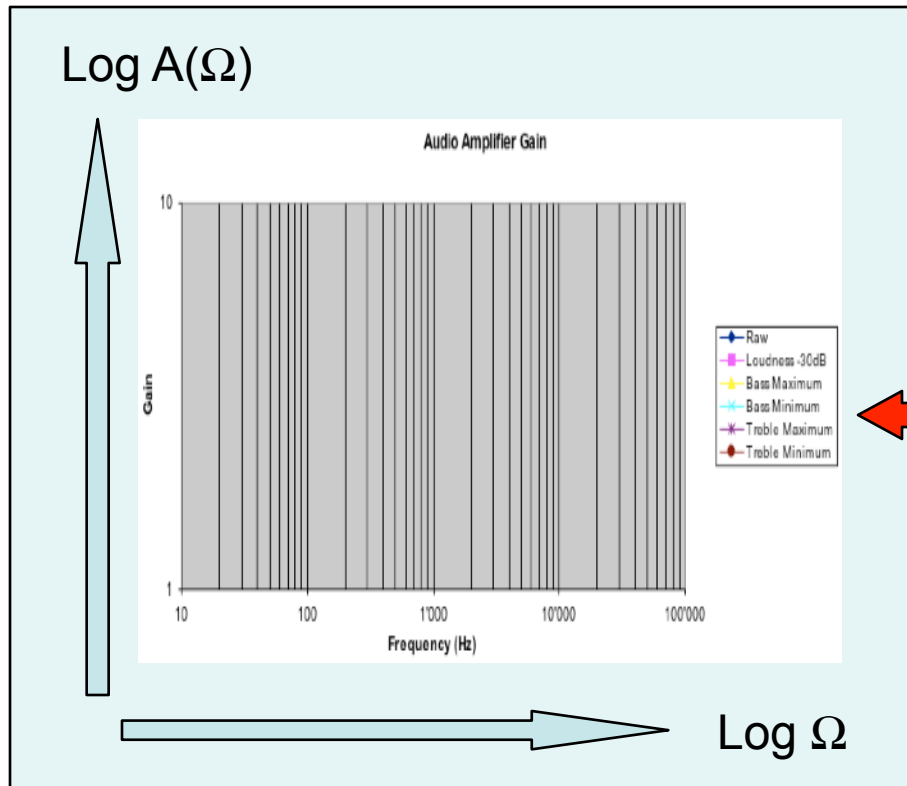
Réponse d'un quadripôle actif: l'ampli HI-FI

Reportez dans un diagramme log-log (diagramme de Bode) **le gain** de l'ampli en fonction de la fréquence de l'entrée (signal sinusoïdal, **20 Hz à 20 kHz**), pour les correcteurs physiologiques (basse, aigue ou loudness) placés:

- au minimum
- au centre
- au maximum

$$u_e(\text{RMS}) \cong 100 \text{ mV}$$

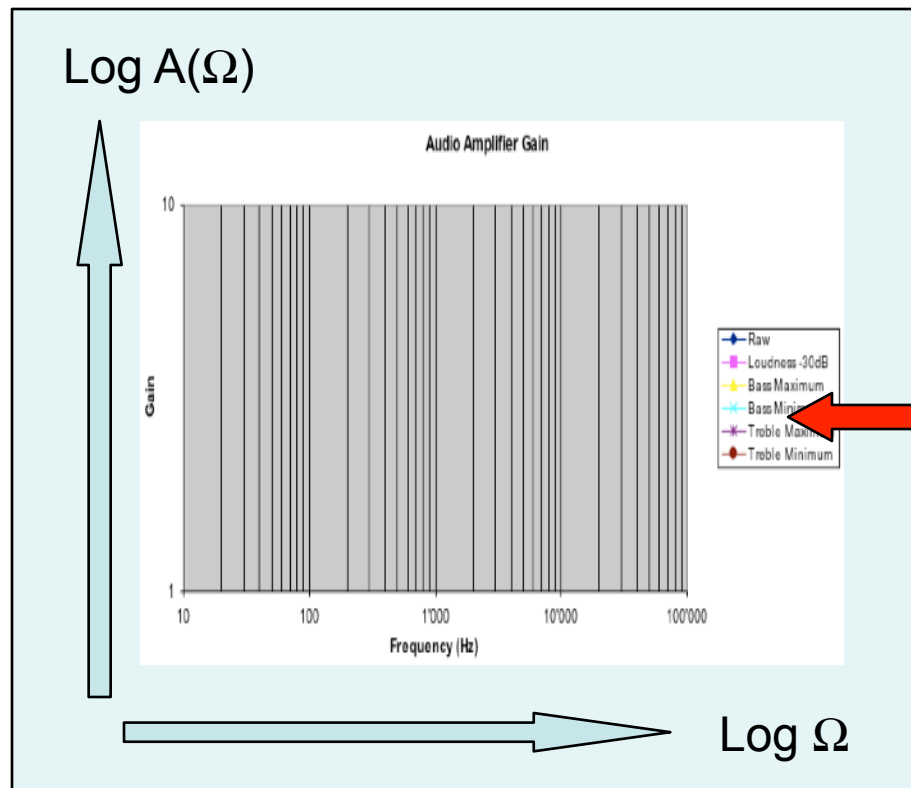
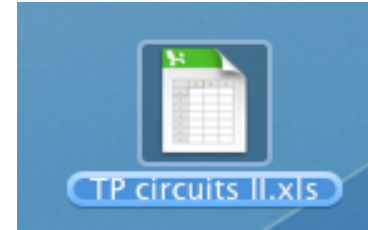
$$|A| = \frac{u_s(\text{RMS})}{u_e(\text{RMS})}$$



Réponse d'un quadripôle actif: l'ampli HI-FI

$$u_e(\text{RMS}) \cong 100 \text{ mV}$$

$$|A| = \frac{u_s(\text{RMS})}{u_e(\text{RMS})}$$



Audio Amplifier Characteristics

1. Raw Data

		Ue	Us	Us	Us	Us	Us	Us	
f (Hz) Target	f (Hz) Actual	Vin(mV)	Vout(mV)						Loudness Bass Treble
			Off	maxi	Off	Off	Off	Off	
			0	0	maxi	mini	0	0	
			0	0	0	0	maxi	mini	0
20	20	98.5	19.2	50.6	20.4	18.2		19.2	19.2
100	100	99.3	19.5	45.9	46.3	7.9		19.6	19.5
500	499	99.5	20.0	25.1	22.2	18.3		23.0	19.9
1'000	1'002	99.6	19.9	20.8	21.0	19.0		21.0	19.1
2'000	2'002	99.6	19.7	21.5	20.7	19.0		23.9	16.4
4'000	3'993	99.6	19.7	27.7	20.5	18.9		31.9	11.6
7'000	7'014	99.5	19.5	35.8	20.4	18.7		44.3	8.1
10'000	9'992	99.5	19.3	40.8	20.2	18.5		54.0	5.9
14'000	14'010	99.5	18.9	45.6	20.3	18.6		64.1	4.6
18'000	18'007	99.5	19.0	47.0	19.9	18.3		69.5	3.6
20'000	19'984	99.5	18.8	47.3	19.7	18.0		71.3	3.0

2. Gain Calculation

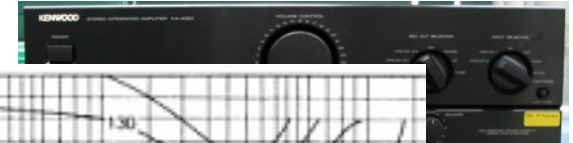
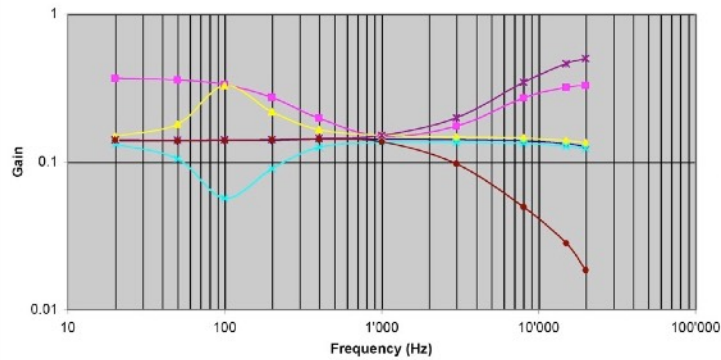
f (Hz)	Raw	Loudness -30dB	Bass Maximum	Bass Minimum	Treble Maximum	Treble Minimum
20	0.194924	0.513706	0.207107	0.184772	0.194924	0.194924
100	0.196375	0.462236	0.466264	0.079557	0.197382	0.196375
499	0.201005	0.252261	0.223116	0.18392	0.231156	0.2
1'002	0.199799	0.208835	0.210843	0.190763	0.210843	0.191767
2'002	0.197791	0.215863	0.207831	0.190763	0.23996	0.164659
3'993	0.197791	0.278112	0.205823	0.189759	0.320281	0.116466
7'014	0.19598	0.359799	0.205025	0.18794	0.445226	0.081407
9'992	0.19397	0.41005	0.203015	0.18593	0.542714	0.059296
14'010	0.18995	0.458291	0.20402	0.186935	0.644221	0.046231
18'007	0.190955	0.472362	0.2	0.18392	0.698492	0.036181
19'984	0.188945	0.475377	0.19799	0.180905	0.716583	0.030151

Réponse d'un quadripôle actif: l'ampli HI-FI



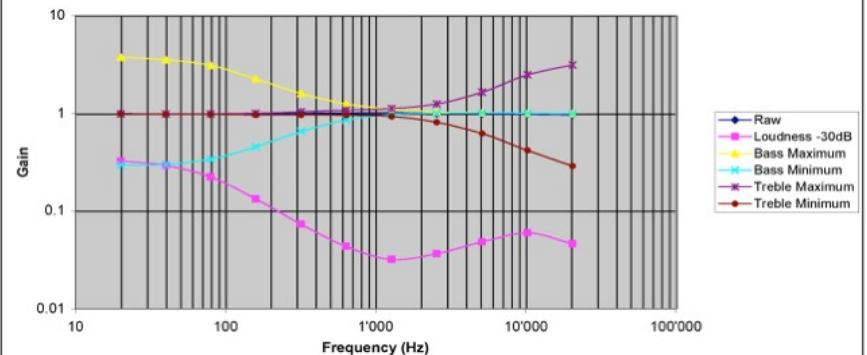
Pioneer A-209R

Audio Amplifier Gain



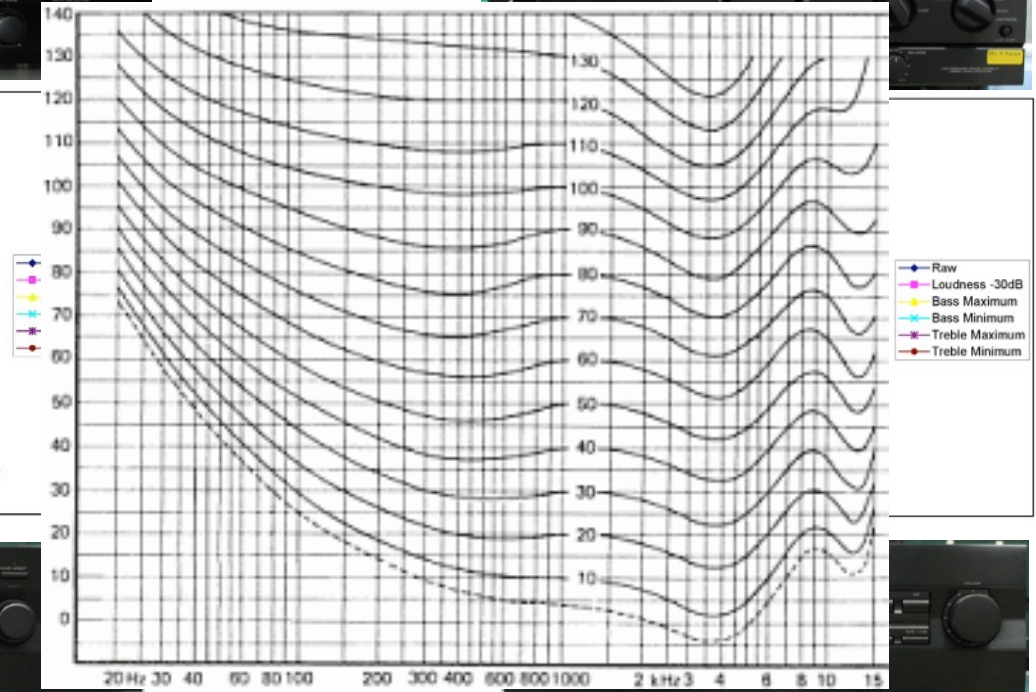
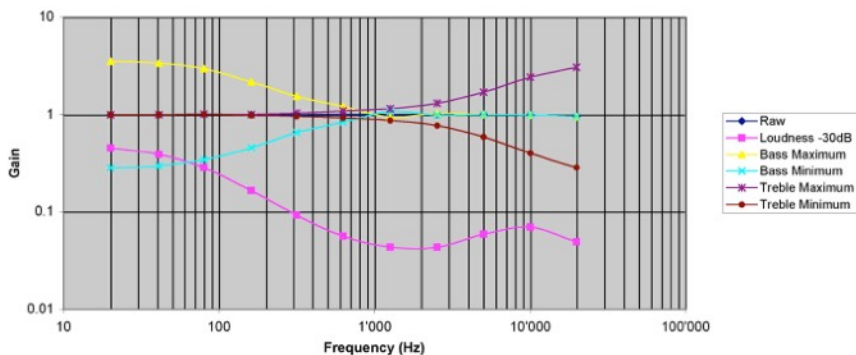
Yamaha RXV-396

Audio Amplifier Gain



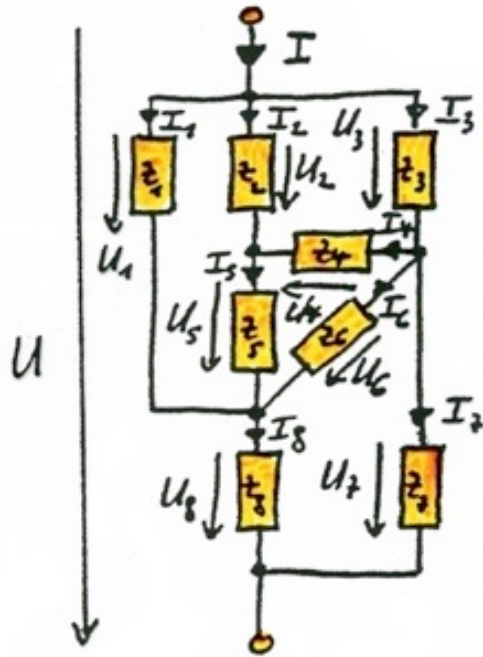
Yamaha RXV-596

Audio Amplifier Gain

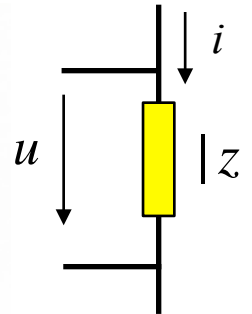


Les dipôles

On appelle **dipôle** un ensemble d'éléments à deux bornes



Si tous les éléments sont linéaires :



$$u = u_0 \sin(\omega t)$$



$$i = i_0 \sin(\omega t - \varphi)$$

Impédance :

$$|Z| = \frac{u_0}{i_0} = \frac{u_{RMS}}{i_{RMS}} = |z|(\omega)$$

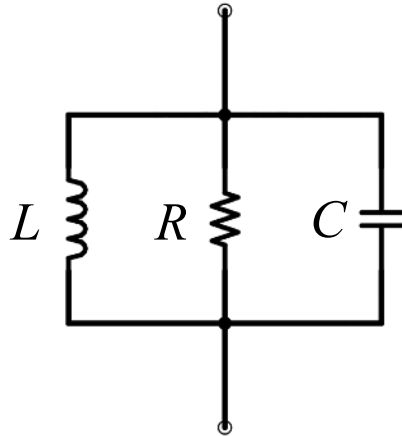
Phase :

$$\varphi = \varphi(\omega)$$

En règle générale, le calcul d'un dipôle fait appel au calcul complexe

Les dipôles

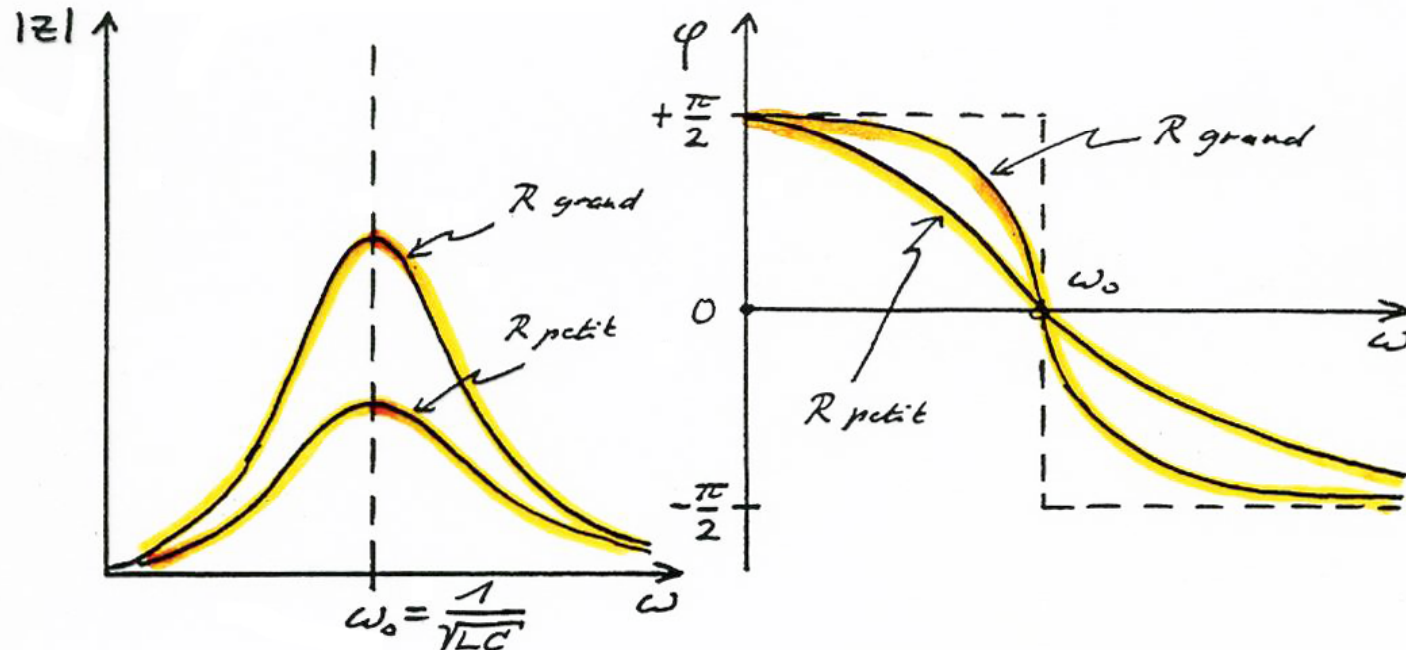
Exemple: circuit résonnant parallèle



$$U = ZI \quad \text{Loi d'Ohm}$$

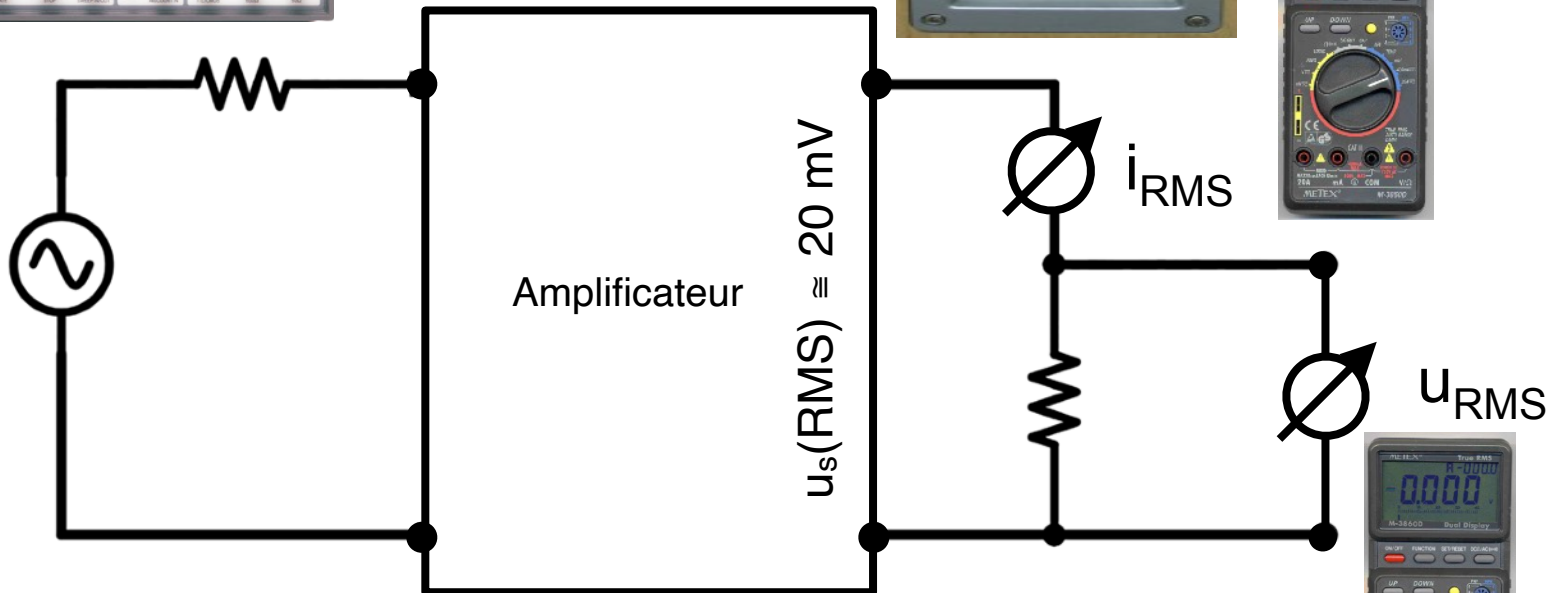
$$Z = |Z|e^{i\varphi} \quad \frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + i\omega C + \frac{1}{i\omega L}$$

$$|z| = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}}$$
$$\tan \varphi = R \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C \right)$$



2) Réponse d'un dipôle: impédance d'une colonne sonore

Effectuez le montage suivant pour la mesure de *l'impédance d'entrée* de la colonne en fonction de la fréquence. Réglez le volume de l'ampli tel que la sortie soit à 1 kHz: $u_s(\text{RMS}) \approx 20 \text{ mV}$



2) Réponse d'un dipôle: impédance d'une colonne sonore

Effectuez le montage suivant pour la mesure de *l'impédance d'entrée* de la colonne en fonction de la fréquence. Réglez le volume de l'ampli tel que la sortie soit à 1 kHz: $u_s(\text{RMS}) \cong 20 \text{ mV}$



i_{RMS}



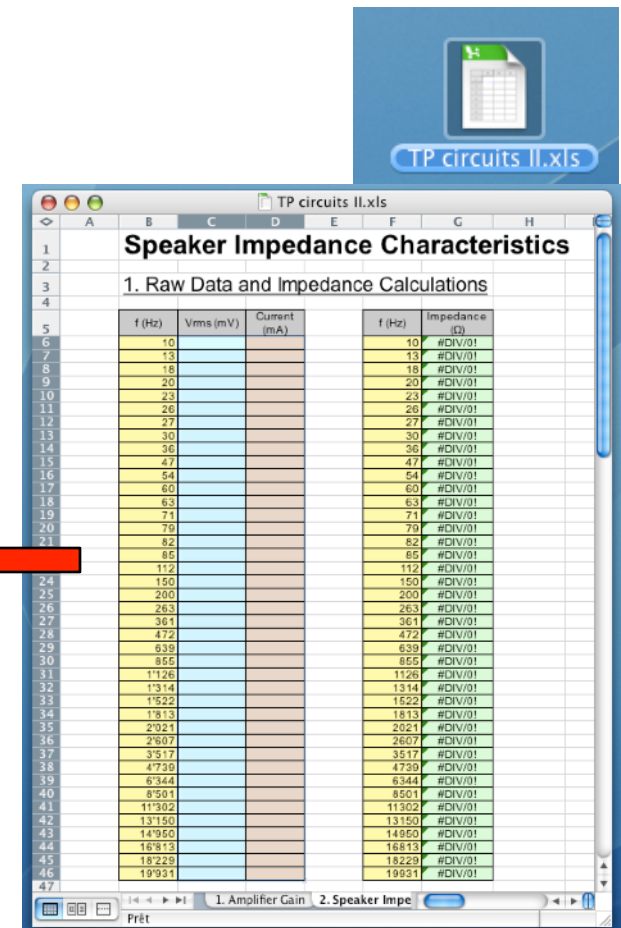
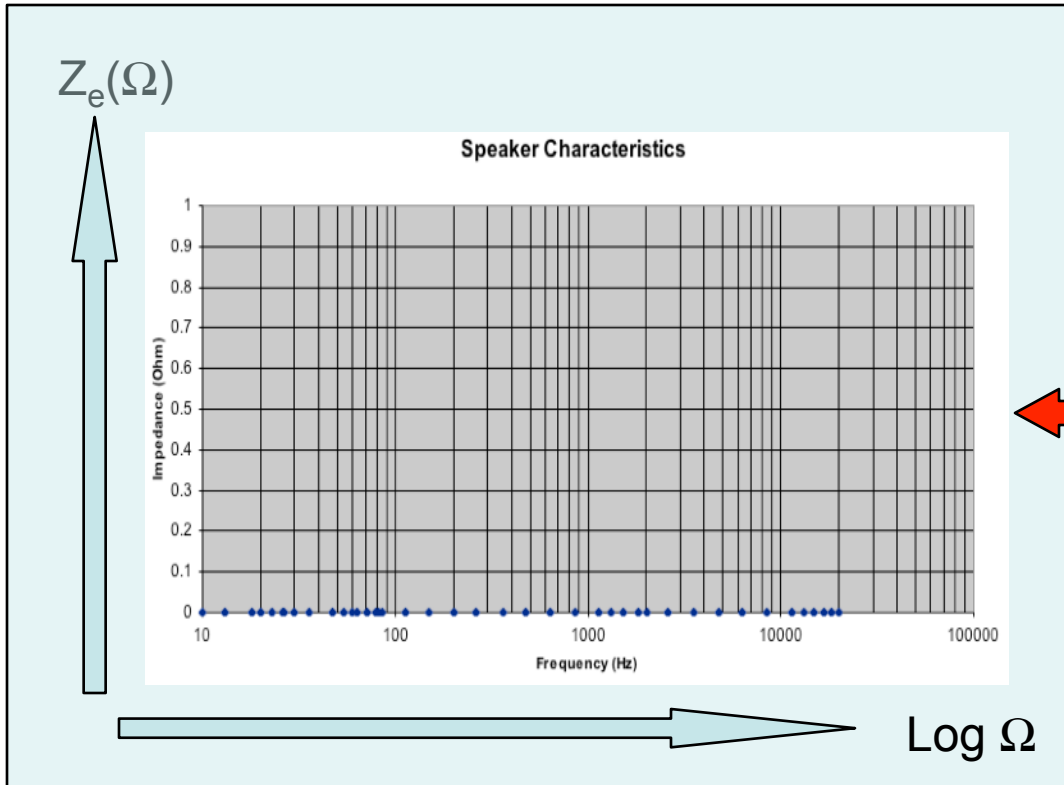
u_{RMS}



Réponse d'un dipôle: impédance d'une colonne sonore

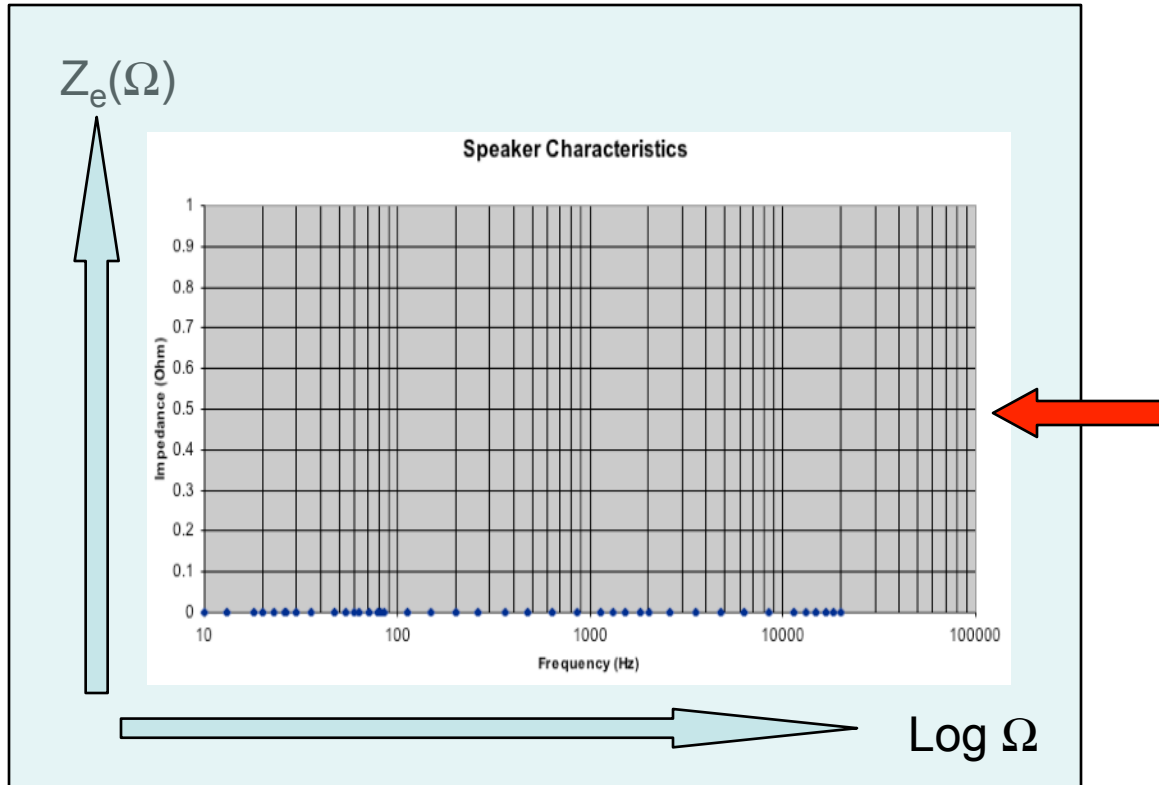
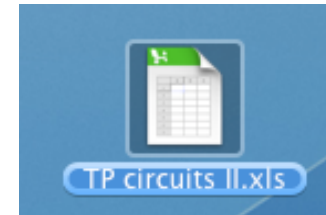
Reportez dans un diagramme lin-log *l'impédance d'entrée* de la colonne en fonction de la fréquence (20 Hz à 20 kHz)

$$|Z_e| = \frac{u(\text{RMS})}{i(\text{RMS})}$$



Réponse d'un dipôle: impédance d'une colonne sonore

$$|Z_e| = \frac{u(\text{RMS})}{i(\text{RMS})}$$



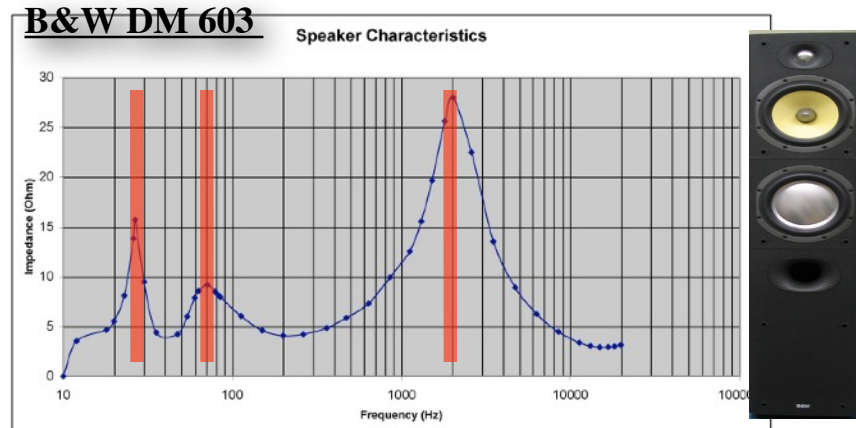
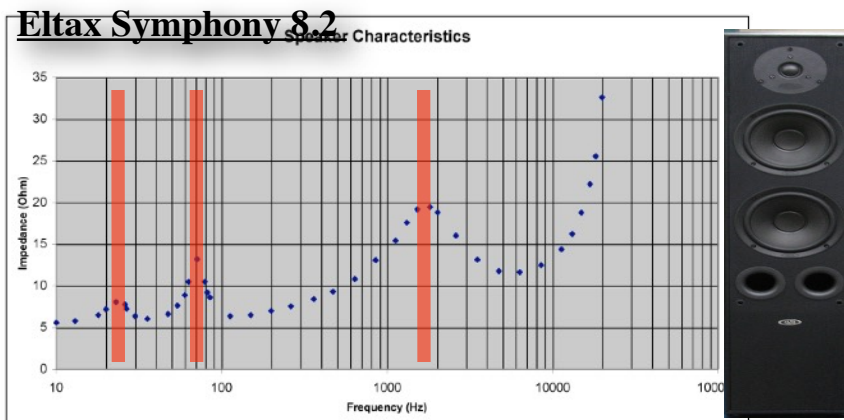
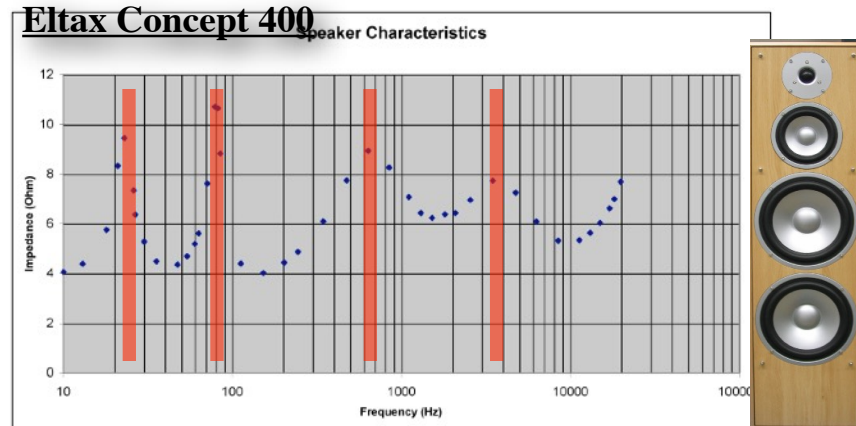
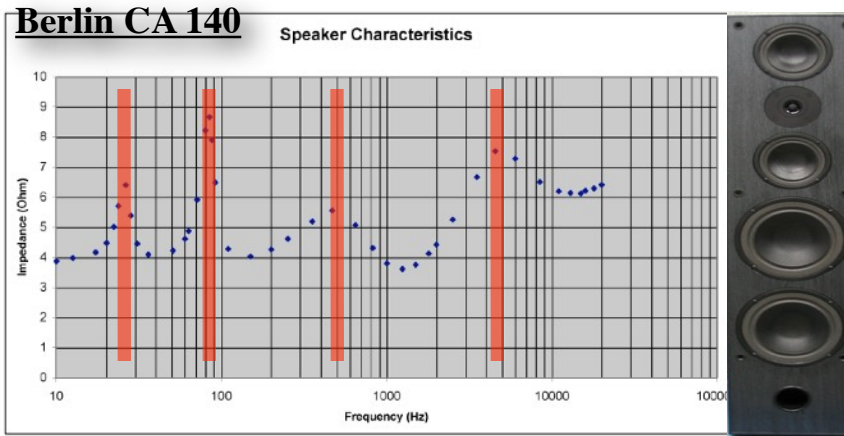
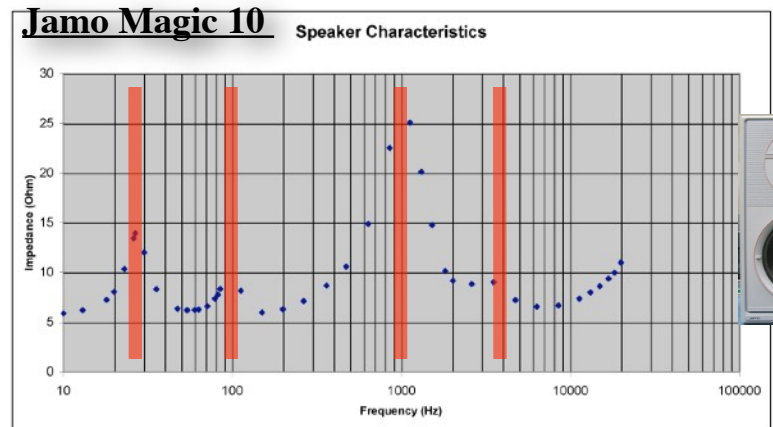
Speaker Impedance Characteristics

1. Raw Data and Impedance Calculations

f (Hz)	Vrms (mV)	Current (mA)	f (Hz)	Impedance (Ω)
10	12.2	3.23	10	3.7770898
13	12.7	3.32	13	3.8253012
18	13.1	3.28	18	3.9939024
20	13.3	3.22	20	4.1304348
23	14.1	2.96	23	4.7635135
26	15.1	2.49	26	6.064257
27	15.0	2.48	27	6.0483871
30	14.2	2.97	30	4.7811448
36	13.2	3.29	36	4.0121581
47	13.2	3.28	47	4.0243902
54	13.4	3.20	54	4.1875
60	13.7	3.09	60	4.433657
63	13.9	3.02	63	4.602649
71	14.7	2.72	71	5.4044118
79	15.7	2.20	79	7.1363636
82	16.0	2.06	82	7.7669903
85	16.1	1.98	85	8.1313131
112	13.4	3.22	112	4.1614907
150	13.0	3.33	150	3.9039039
200	13.4	3.23	200	4.1486088
263	13.9	3.08	263	4.512987
361	14.4	2.90	361	4.9855172
472	15.1	2.64	472	5.719697
639	14.5	2.95	639	4.9152542
855	13.5	3.35	855	4.0298507
1126	12.8	3.62	1126	3.5359116
1314	12.8	3.62	1314	3.5359116
1522	13.0	3.55	1522	3.6619718
1813	13.6	3.32	1813	4.0963855
2021	14.1	3.13	2021	4.5047923
2607	14.9	2.75	2607	5.4181818
3517	15.6	2.27	3517	6.8722487
4739	15.9	1.90	4739	8.3684211
6344	15.6	1.82	6344	8.5714286
8501	15.1	1.72	8501	8.7790698
11302	14.8	1.46	11302	10.136986
13150	14.8	1.23	13150	12.03252
14950	14.7	1.02	14950	14.411765
16813	14.7	0.84	16813	17.5
18229	14.6	0.69	18229	21.15942
19931	14.6	0.58	19931	25.172414

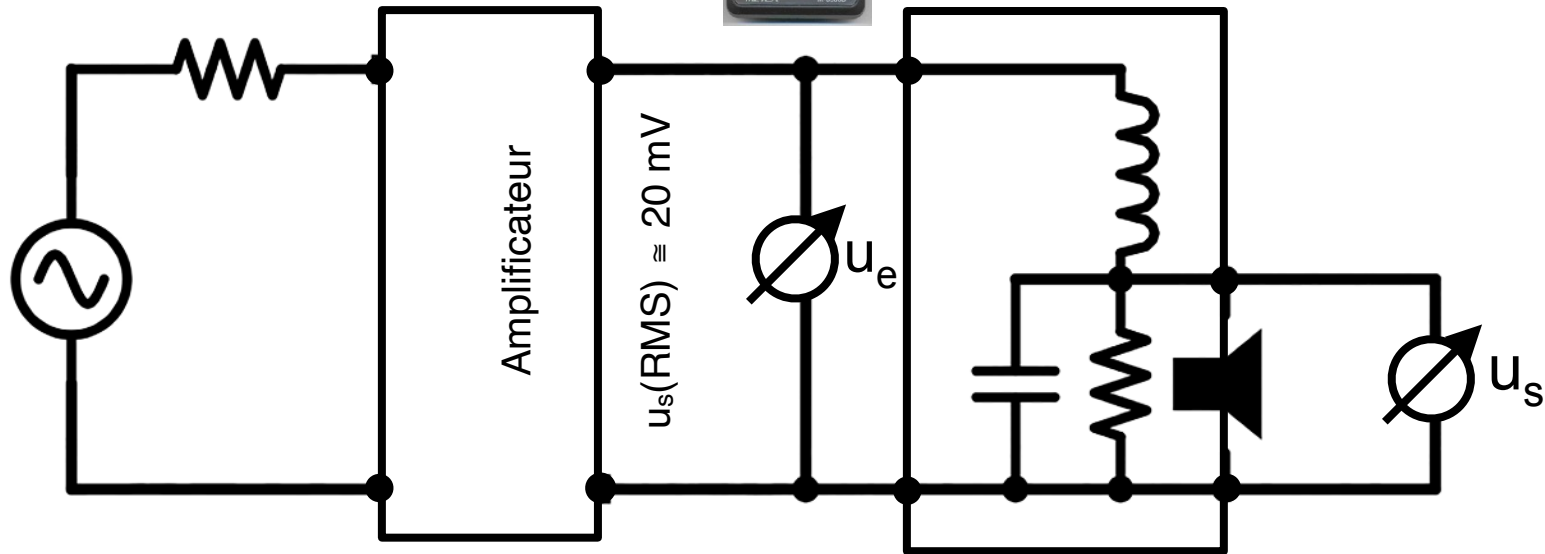
Réponse d'un dipôle: impédance d'une colonne sonore

Le diagramme de *l'impédance d'entrée* de la colonne en fonction de la fréquence (**20 Hz à 20 kHz**)



3) Réponse de quadripôles passifs: les filtres d'aiguille des hauts-parleurs

Effectuez le montage suivant pour la mesure des fonctions de transfert des filtres d'aiguille des hauts-parleurs. Réglez le volume de l'ampli tel que la sortie soit à 1 kHz : $u_s(\text{RMS}) \approx 20 \text{ mV}$



Quadrupole

3) Réponse de quadripôles passifs: les filtres d'aiguille des hauts-parleurs

Effectuez le montage suivant pour la mesure des fonctions de transfert des filtres d'aiguille des hauts-parleurs. Réglez le volume de l'ampli tel que la sortie soit à 1 kHz : $u_s(\text{RMS}) \approx 20 \text{ mV}$



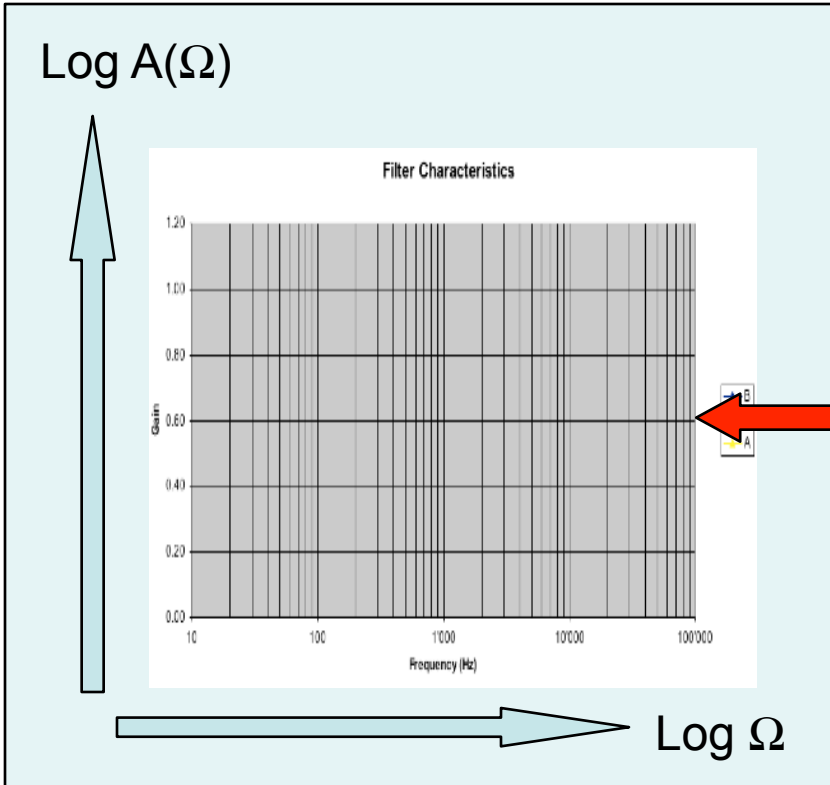
U_s



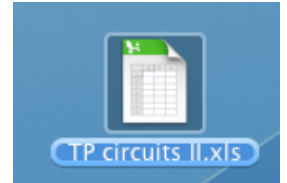
U_e

Réponse de quadripôles passifs: les filtres d'aiguille des hauts-parleurs

Reportez dans un diagramme log-log de Bode **les 3 fonctions de transfert** des filtres d'aiguille pour les haut-parleurs basse, médium et aigu, en fonction de la fréquence (**20 Hz à 20 kHz**):



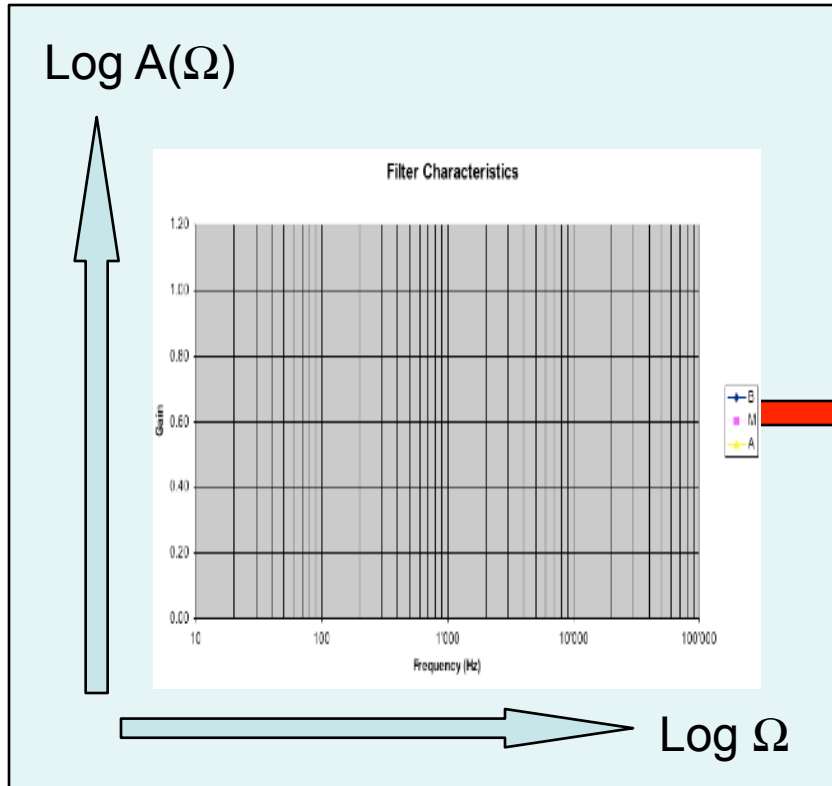
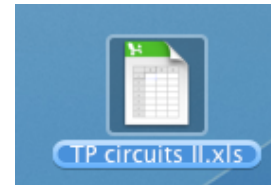
$$|A| = \frac{u_s(\text{RMS})}{u_e(\text{RMS})}$$



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Crossover filter Characteristics														
2															
3	1. Raw Data and Impedance Calculations														
4															
5	Speaker B (Woofer)				Speaker M (Main Speaker)				Speaker A (Tweeter)						
6															
7	f (Hz)	Ue (mV)	Us (mV)	20 log A	f (Hz)	Ue (mV)	Us (mV)	20 log A	f (Hz)	Ue (mV)	Us (mV)	20 log A			
8				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
9				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
10				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
11				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
12				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
13				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
14				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
15				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
16				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
17				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
18				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
19				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
20				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
21				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
22				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
23				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
24				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
25				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
26				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
27				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
28				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
29				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
30				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		
31				#DIV/0!				#DIV/0!					#DIV/0!		

Réponse de quadripôles passifs: les filtres d'aiguillage des hauts-parleurs

$$|A| = \frac{u_s(\text{RMS})}{u_e(\text{RMS})}$$



Crossover filter Characteristics

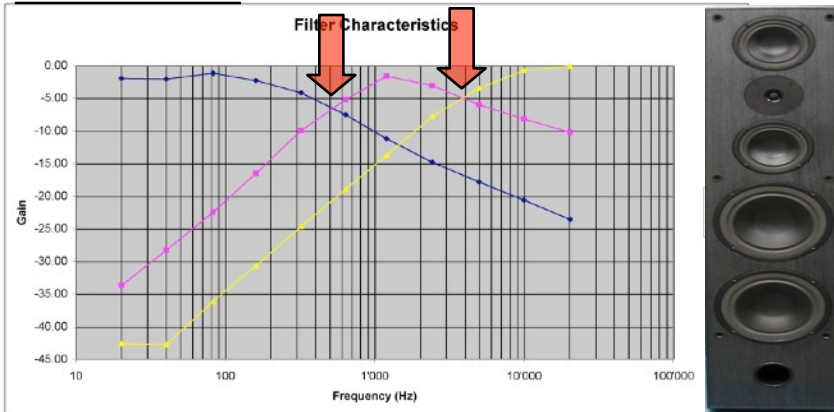
1. Raw Data and Calculations

Speaker B (Woofer)				Speaker M (Main Speaker)				Speaker A (Tweeter)			
f (Hz)	Ue (mV)	Us (mV)	20 log A	f (Hz)	Ue (mV)	Us (mV)	20 log A	f (Hz)	Ue (mV)	Us (mV)	20 log A
20	20.4	16.30	-1.95	20	20.4	0.50	-32.21	20	20.4	0.30	
50	20.3	16.00	-2.07	50	20.4	1.00	-26.19	50	20.3	0.20	
80	20.5	17.60	-1.32	80	20.5	1.60	-22.15	80	20.5	0.40	
90	20.5	18.70	-0.80	90	20.5	1.70	-21.63	90	20.5	0.30	
120	20.3	17.30	-1.39	120	20.4	2.30	-18.96	120	20.4	0.50	
150	20.4	16.10	-2.06	150	20.4	2.90	-16.94	150	20.4	0.50	
300	20.7	13.20	-3.91	300	20.7	6.30	-10.33	300	20.7	1.10	
500	20.8	10.30	-4.10	500	20.9	9.70	-6.63	500	20.8	1.80	
1000	20.7	6.50	-10.06	1000	20.7	16.40	-2.02	1000	20.7	3.80	
1500	20.6	5.00	-12.30	1500	20.6	17.20	-1.57	1500	20.6	5.30	
2000	20.6	4.10	-14.02	2000	20.6	15.70	-2.36	2000	20.6	7.20	
2500	20.5	3.60	-15.11	2500	20.5	14.10	-3.25	2500	20.5	9.10	
3500	20.5	2.90	-16.99	3500	20.5	11.90	-4.72	3500	20.5	12.00	
4500	20.5	2.50	-18.28	4500	20.5	10.50	-5.81	4500	20.5	13.00	
6000	20.4	2.00	-20.17	6000	20.4	9.20	-6.92	6000	20.4	15.40	
8000	20.2	1.50	-22.59	8000	20.2	8.10	-7.94	8000	20.2	17.50	
10000	20.1	1.00	-26.06	10000	20.1	7.30	-8.80	10000	20.1	18.60	
12500	19.9	0.80	-30.41	12500	19.9	6.30	-9.99	12500	19.9	19.20	
15000	19.7	0.30	-36.35	15000	19.6	5.60	-10.88	15000	19.6	19.20	
17500	19.4	0.30	-36.21	17500	19.4	5.00	-11.76	17500	19.4	19.20	
20000	19.2	0.20	-39.65	20000	19.2	4.40	-12.80	20000	19.2	19.00	

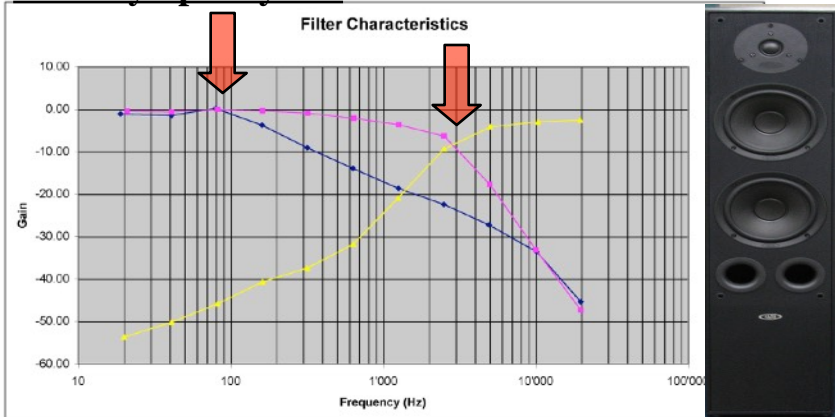
Réponse de quadripôles passifs: les filtres d'aiguille des hauts-parleurs

Le diagramme de Bode des *3 fonctions de transfert* des filtres d'aiguille pour les haut-parleurs basse, médium et aigu, en fonction de la fréquence (20 Hz à 20 kHz).

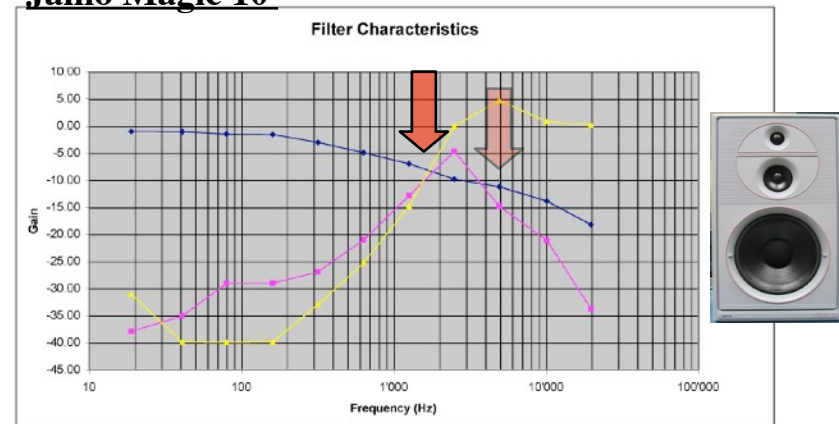
Berlin CA 140



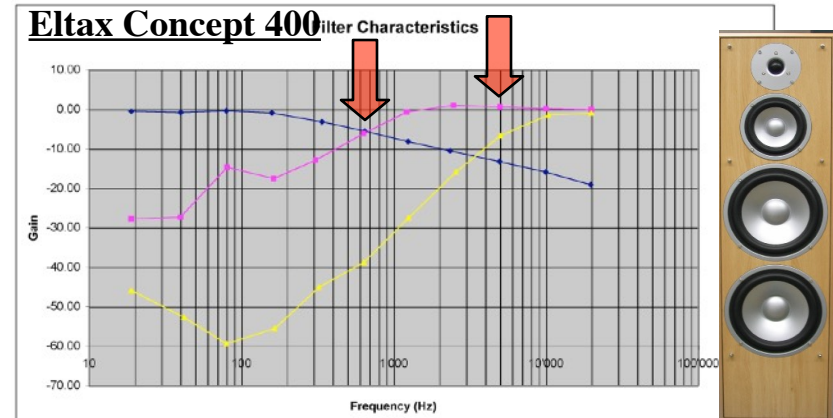
Eltax Symphony 8.2



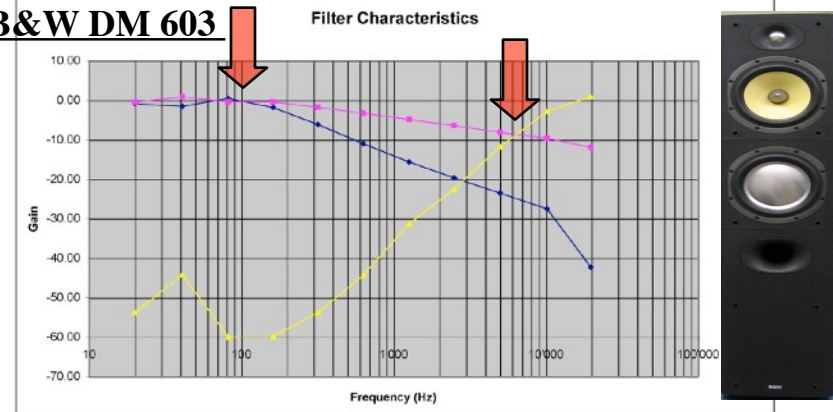
Jamo Magic 10



Eltax Concept 400



B&W DM 603



Discussion

a) Essayer de commenter en les corrélant *la courbe d'impédance de la colonne* et *les fonctions de transfert des filtres d'aiguillage* de la colonne.

b) A l'aide de la courbe d'impédance de la colonne et des fonctions de transfert des filtres d'aiguille, pouvez-vous retrouver *quel est le filtre de votre colonne* parmi les filtres suivants ? Justifiez votre choix !

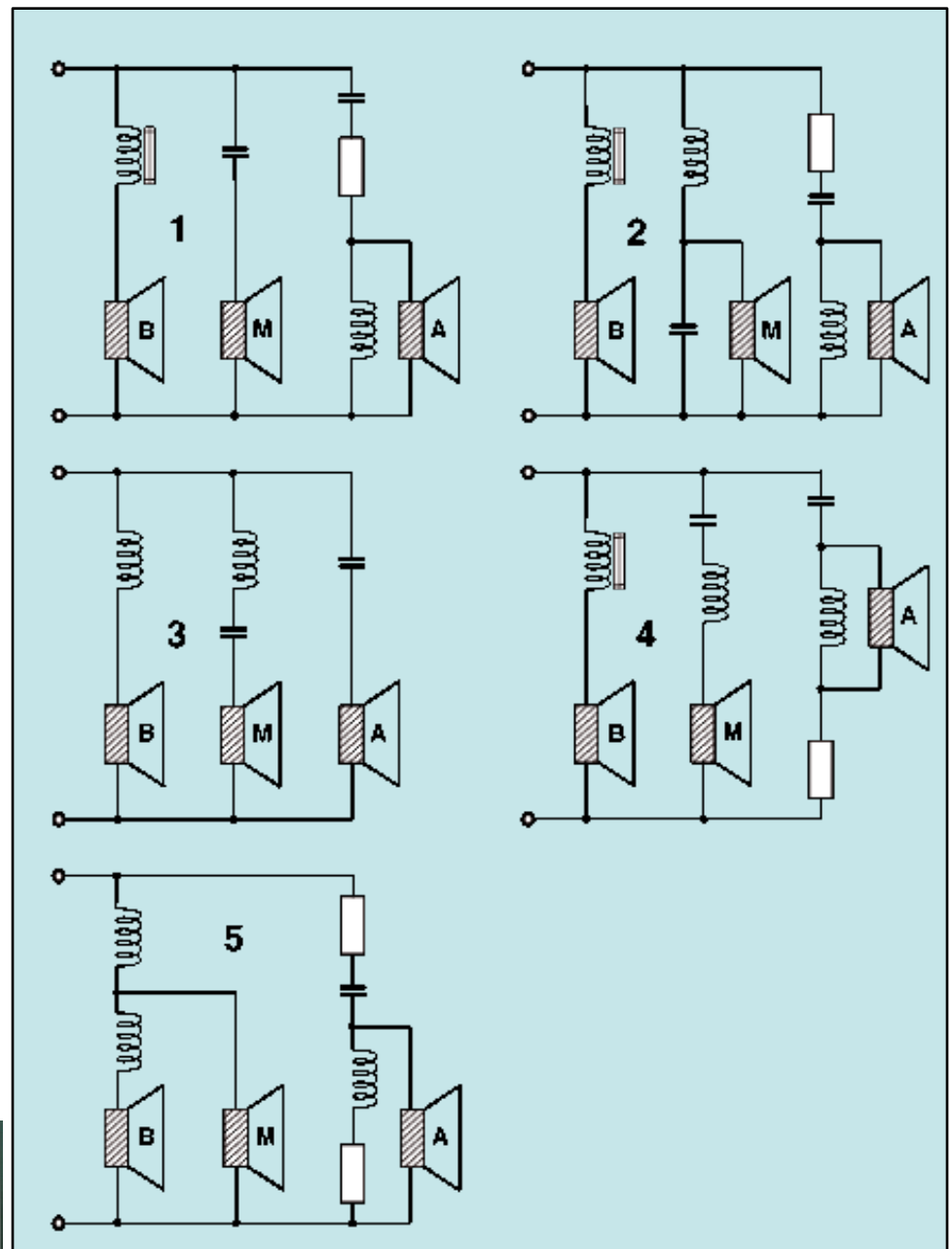
Eltax Symphony 8.2

B&W DM 603 S3

Eltax Concept 400

Jamo Magic 10

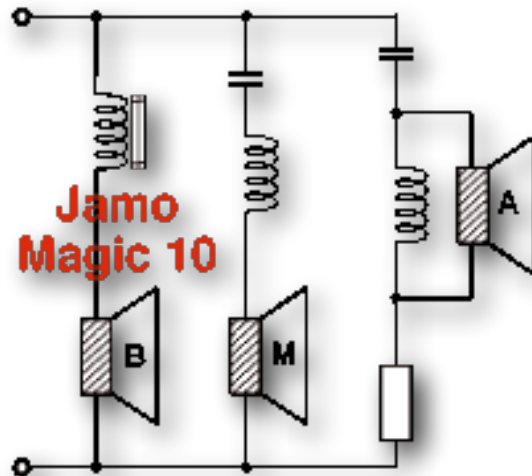
Berlin CA 140



Jamo Magic 10

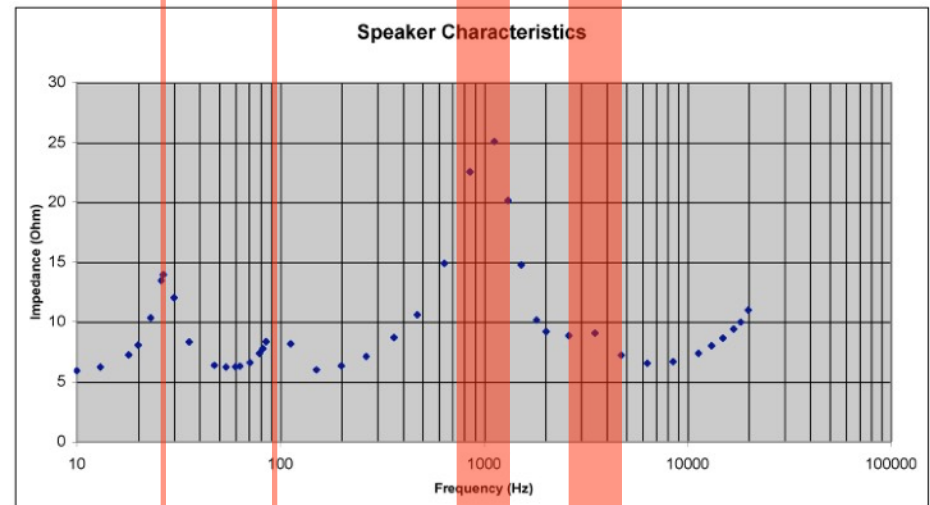
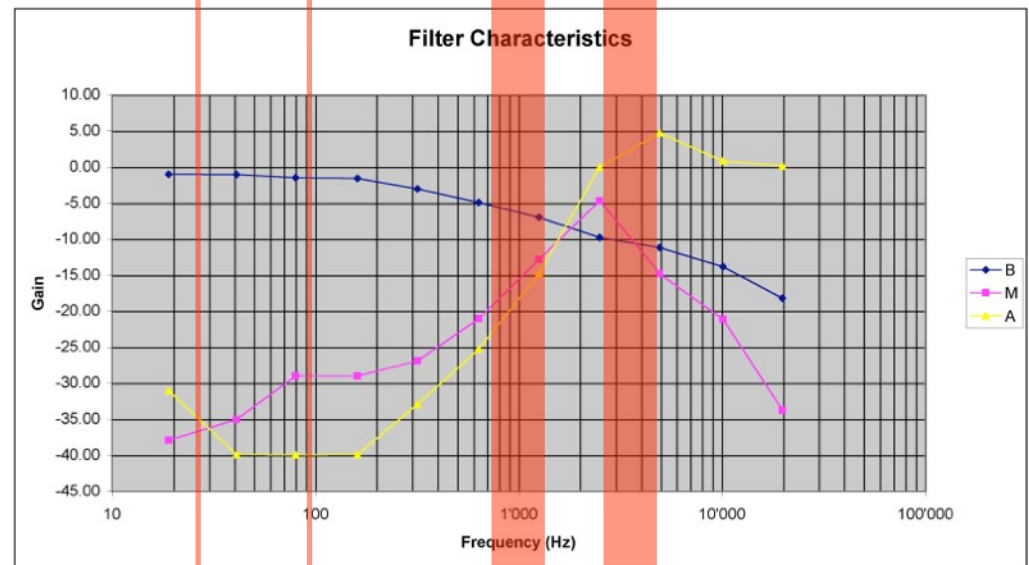


4



Résonance mécanique HP grave et médium

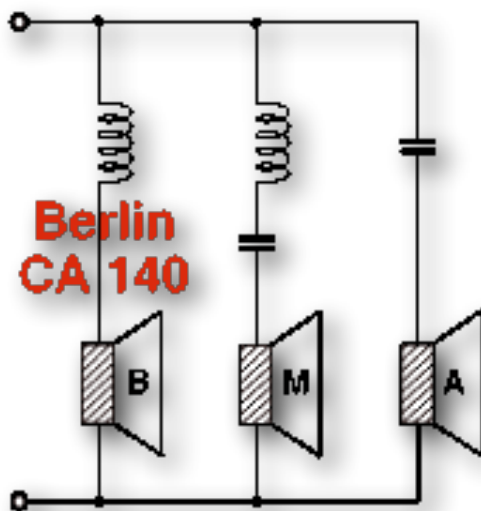
Fréquences d'aiguilles basse-médium & médium-aigus



Berlin CA 140

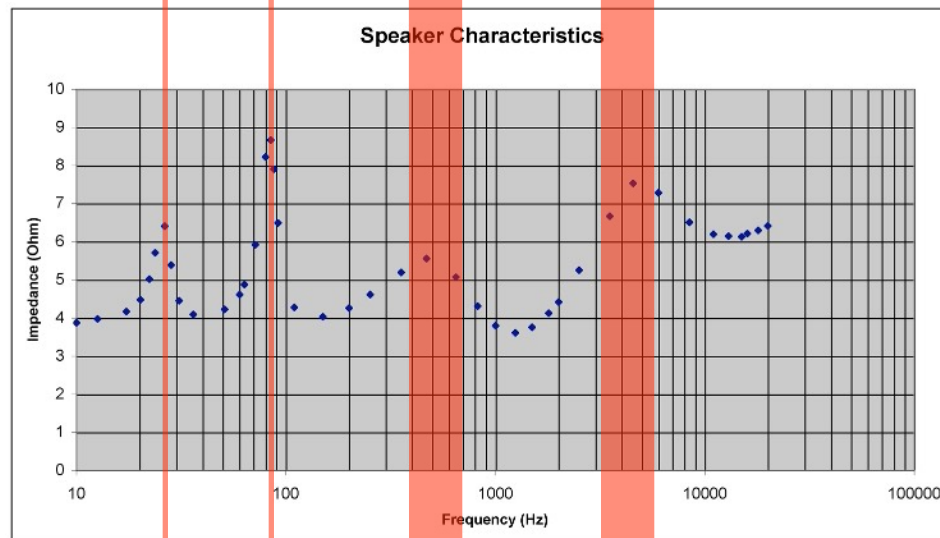
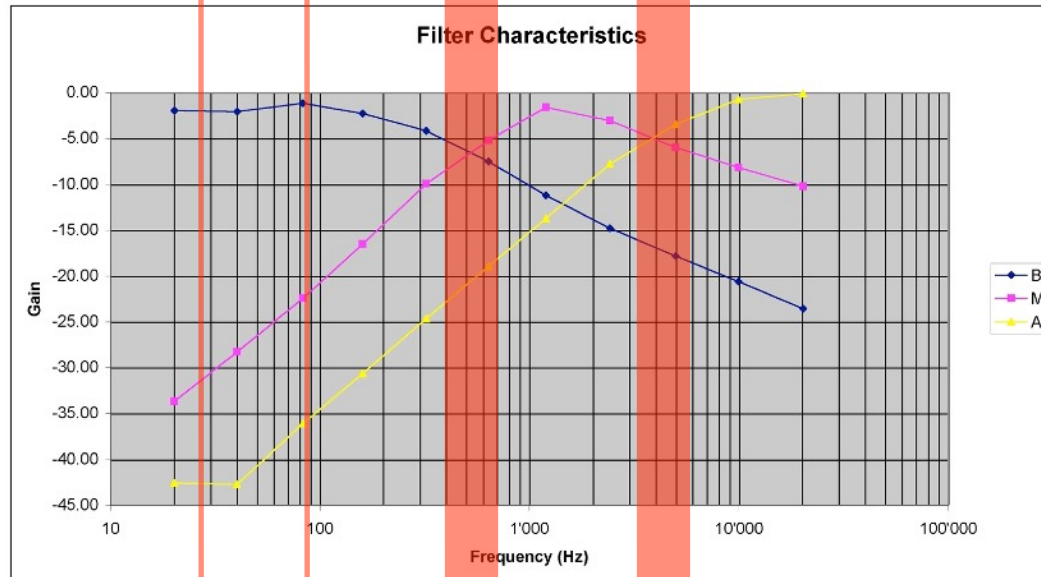


3



Résonance mécanique HP
grave et médium

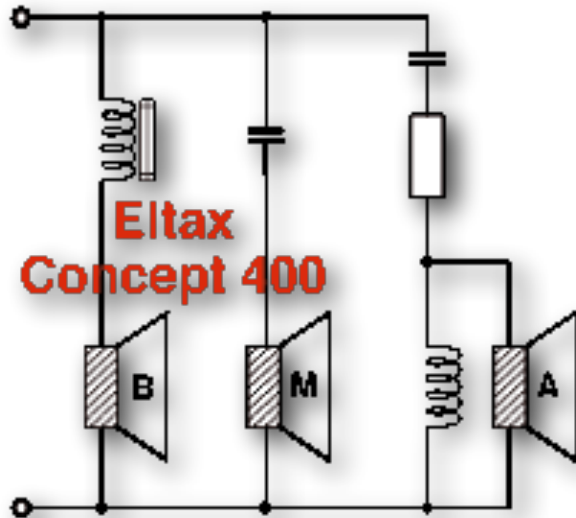
Fréquences d'aiguilles
basse-médium & basse-aigus



Eltax Concept 400

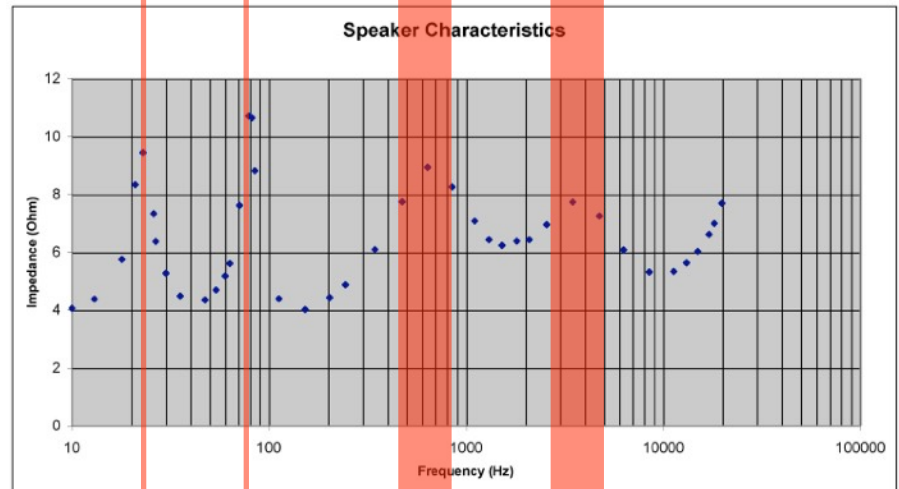
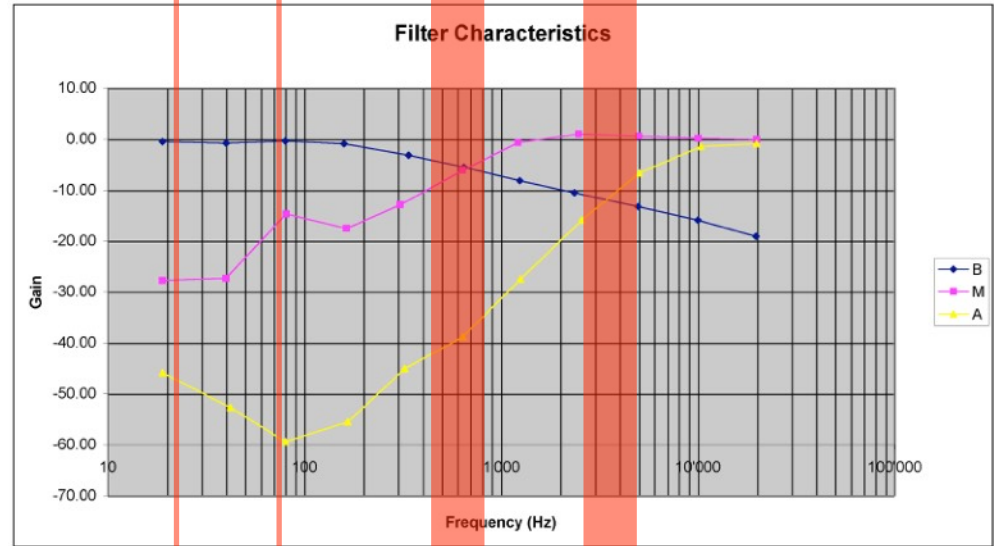


1



Résonance mécanique HP
grave et médium

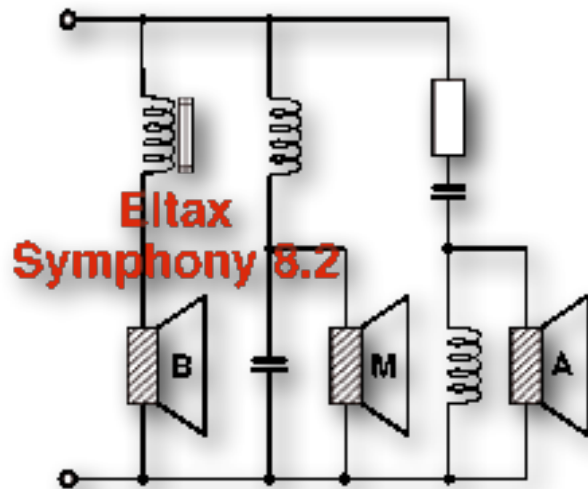
Fréquences d'aiguilles
basse-médium & basse-aigus



Eltax Symphony 8.2

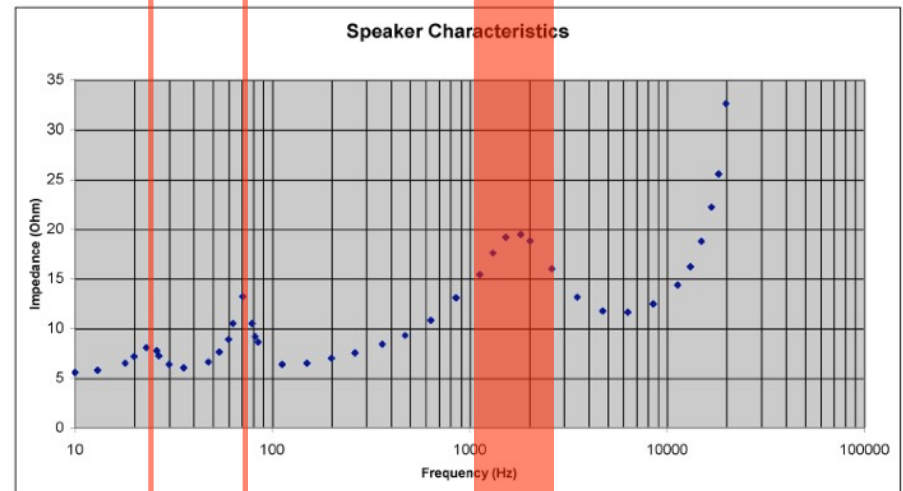
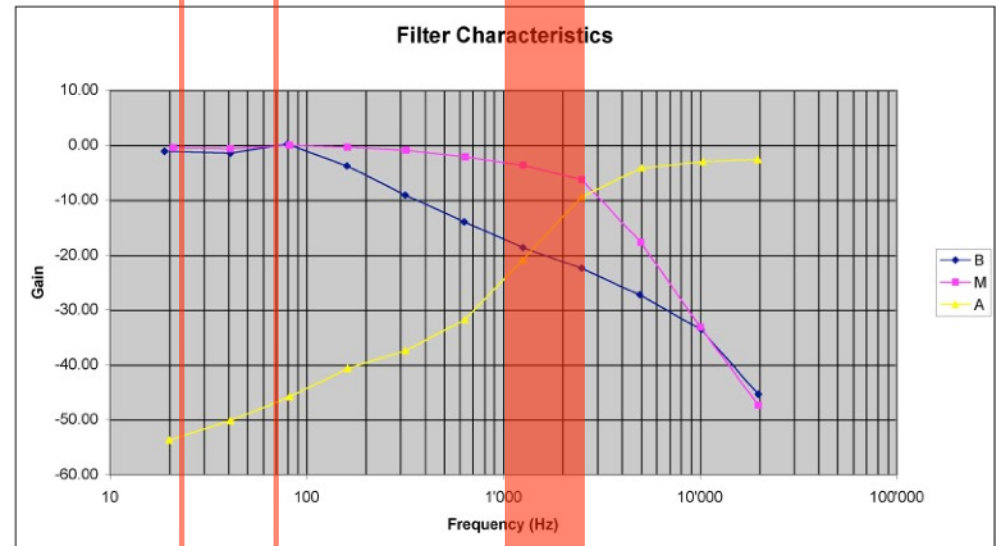


2



Résonance mécanique HP
grave et médium

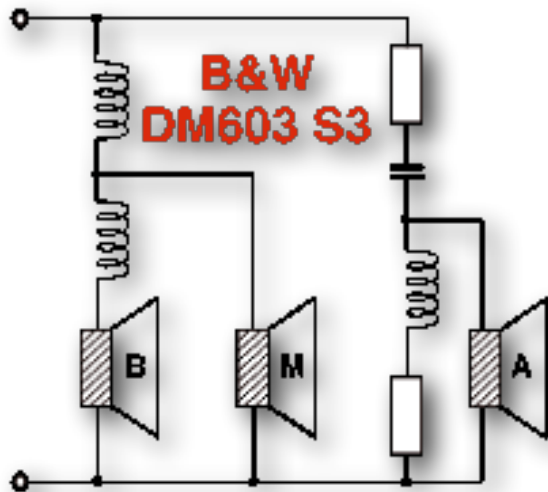
Fréquences d'aiguilles
basse/médium-aigus



B&W DM 603 S3

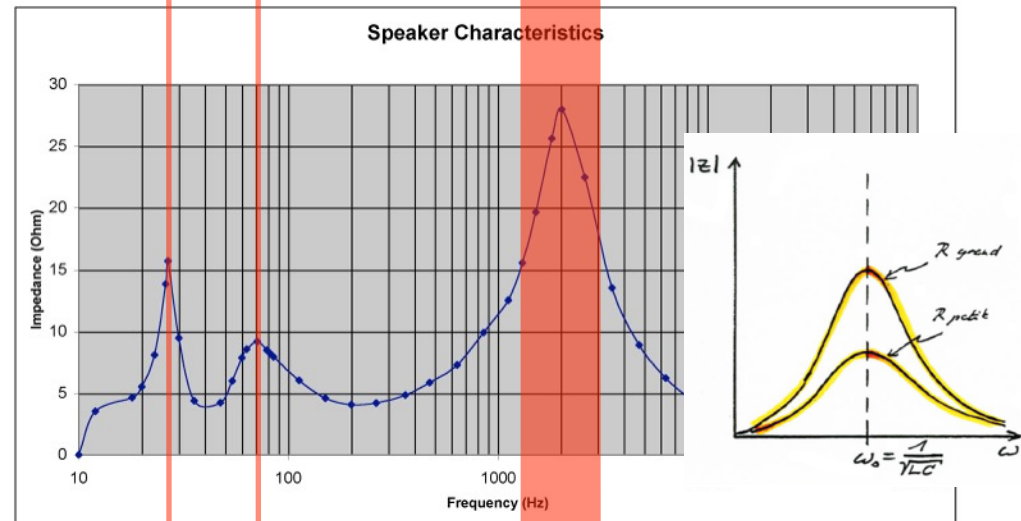
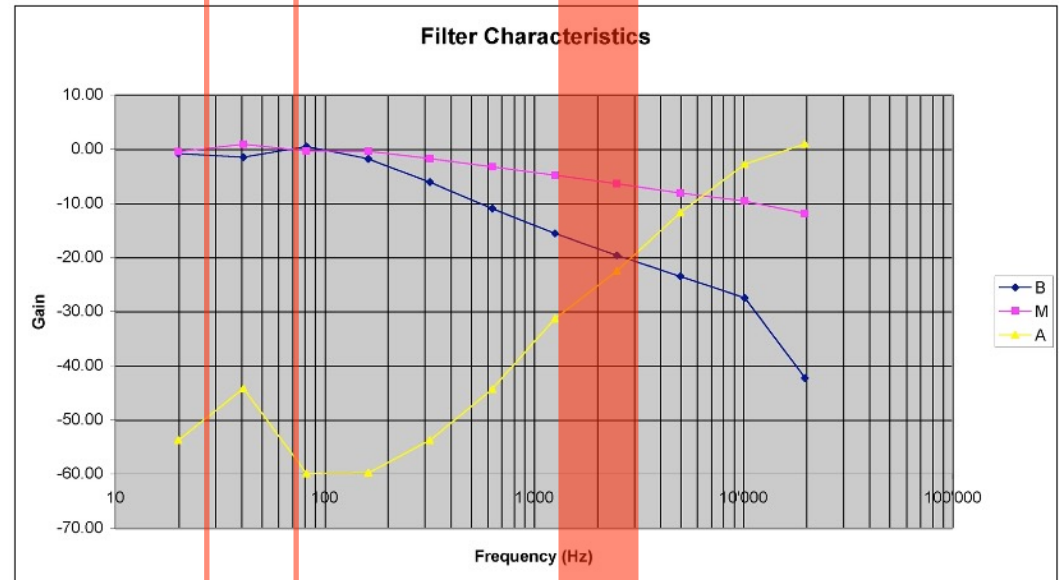


5

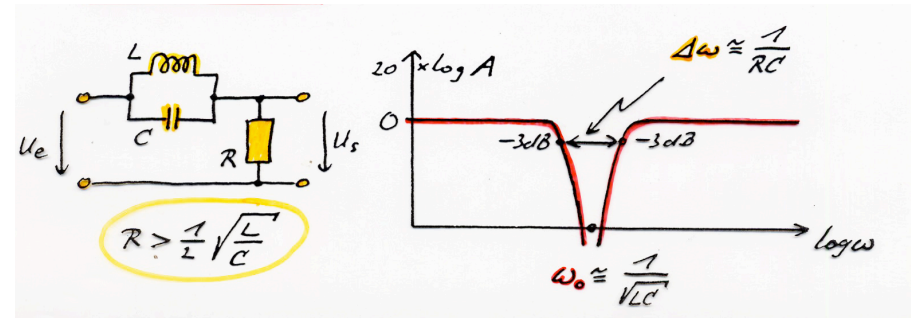
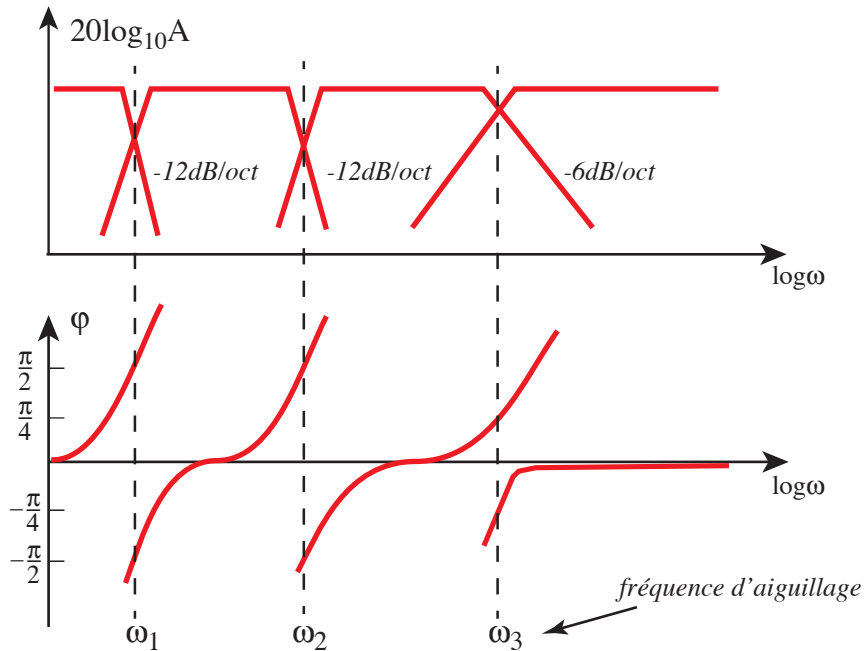


Résonance mécanique HP
grave et médium

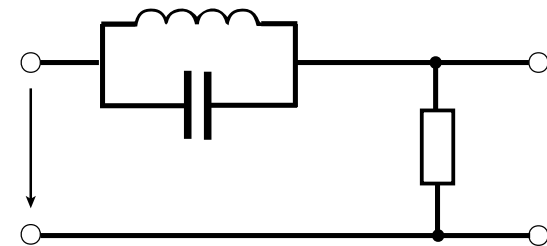
Fréquence d'aiguilles
basse/médium-aigus



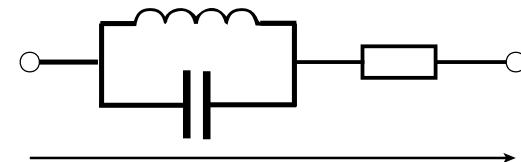
Pourquoi maximum d'impédance au crossover des filtres ?



equivalent à un filtre bouchon



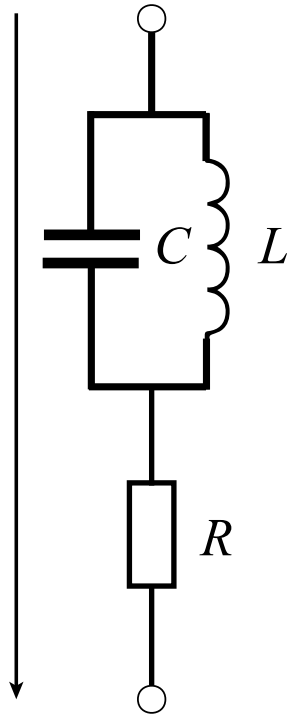
Quadrupole



Dipole équivalent

Les dipôles

Exemple: circuit résonnant parallèle



$$U = ZI \quad \text{Loi d'Ohm}$$

$$Z = |Z| e^{i\varphi}$$

$$Z = R + \frac{1}{i\omega C - \frac{i}{\omega L}} = R - \frac{i\omega L}{\omega^2 LC - 1}$$

$$|z| = \sqrt{R^2 + \frac{\omega^2 L^2}{(\omega^2 LC - 1)^2}}$$

$$\tan \varphi = \frac{1 - \omega^2 LC}{\omega LR}$$

