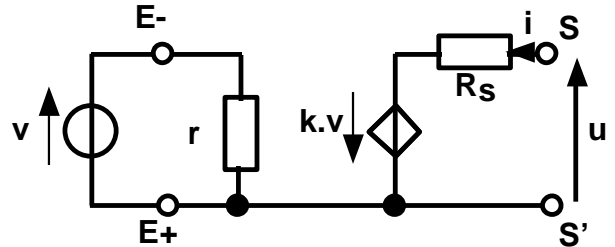


Amplification et contre-réaction

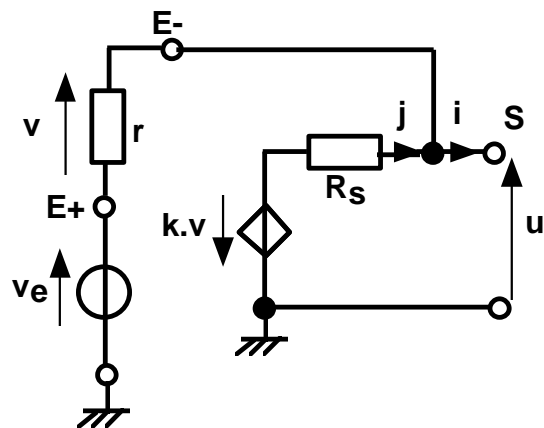
I. Amplification et contre-réaction

I.1. On a représenté ci-contre le schéma équivalent d'un amplificateur de bornes d'entrée E+ et E- et de bornes de sortie S et S'. L'amplificateur est attaqué par une source de tension idéale fournissant une tension v ; on suppose que la fréquence du signal fourni par cette source est telle que l'on se trouve à l'intérieur de la bande passante de l'amplificateur et que donc les coefficients r , R_S et k sont réels positifs.



Déterminer les éléments du modèle équivalent de Thévenin de l'amplificateur vu de la sortie, c'est à dire du dipôle vu entre les bornes S et S', ainsi que sa résistance d'entrée.

I.2. On munit l'amplificateur de la question précédente d'une contre-réaction ; on obtient un amplificateur dont la tension d'entrée v_e est distincte de la tension d'entrée v du quadripôle amplificateur précédent.



On demande de déterminer les éléments du schéma équivalent de Thévenin du dipôle de sortie de ce nouvel amplificateur, ainsi que sa résistance d'entrée (sortie à vide).

Quelle fonction ce montage remplit-il et quel nom peut-on lui donner ?

A.N : $r = 100 \text{ k}\Omega$; $R_S = 100 \text{ }\Omega$; $k = 100$

I.3. On n'a pas tenu compte dans le schéma équivalent précédent de l'amplificateur de l'influence de la fréquence. On modélise celle-ci en introduisant un coefficient \underline{k} complexe :

$$\underline{k} = \frac{k_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}} \text{ avec } k_0 = 100 \text{ et } \omega_0 = 2000 \pi$$

I.3.a Donnez la valeur du produit amplification en continu - bande passante en boucle ouverte.

I.3.b Même chose en boucle fermée. Interprétez et esquissez sur un même diagramme le diagramme de Bode du gain en boucle ouverte et en boucle fermée

Solution

I.1. On a de façon évidente : $e_{Th} = u_v = -k v = -100v$.

Pour déterminer la résistance interne du dipôle, on annule la source de tension indépendante v ; la source de tension commandée $k.v$ se trouve donc également annulée et la résistance vue entre les bornes S et S' est égale à R_s : $R_i = R_s = 100 \Omega$.

Dans le schéma qui était proposé, le dipôle SS' était donc déjà sous la forme d'un schéma de Thévenin ; ceci s'explique par le fait que la source $k.v$ étant commandée par une source indépendante, elle a elle-même un comportement de source indépendante, dont on peut lui donner le symbole.

Quant à la résistance d'entrée, elle est de façon évidente égale à r .

Vérification Spice

Exercice 11

V1 1 0 dc 1

rin 1 0 100k

e1 0 2 1 0 100

Rs 2 3 100

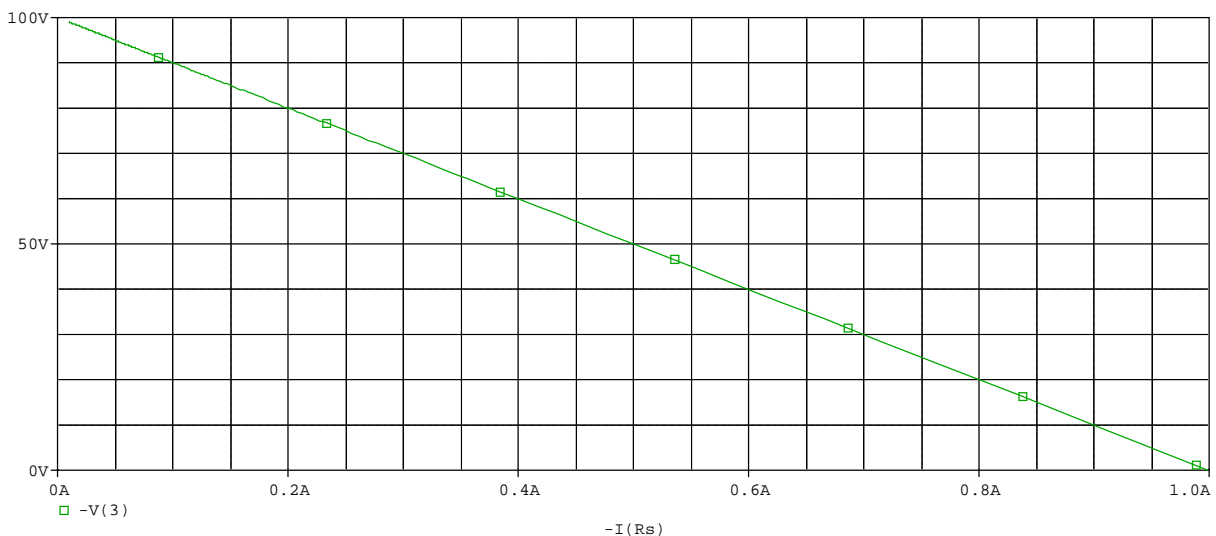
Ru 3 0 {Ru}

.param Ru 1meg ; valeur par défaut de Ru

.dc param Ru .1 10k 10

.probe

.end



Pour une tension d'entrée de 1 V, on trouve bien une tension de sortie de - 100 V, tandis que la pente de la caractéristique courant-tension du dipôle est de 100 Ω . On peut également lire sur le graphe la valeur du courant de court-circuit, soit 1 A.

I.2. Du fait de la contre-réaction, les circuits d'entrée et de sortie n'ont plus un fonctionnement indépendant.

I.2.a. Tension à vide

A vide ($i = 0$), on a :

$$\left. \begin{aligned} u &= -k v - R_s j \\ u &= v + v_e \\ v &= r j \end{aligned} \right\} \Rightarrow u = -k v - \frac{R_s}{r} v = -\left(k + \frac{R_s}{r}\right)(u - v_e)$$

d'où : $u = v_e \frac{k + R_s/r}{1 + k + R_s/r} = v_e \frac{100 + 10^{-3}}{1 + 100 + 10^{-3}} = 0.99 v_e \approx v_e \Rightarrow e_{Th} = 0.99 v_e \approx v_e$

I.2.b. Résistance interne

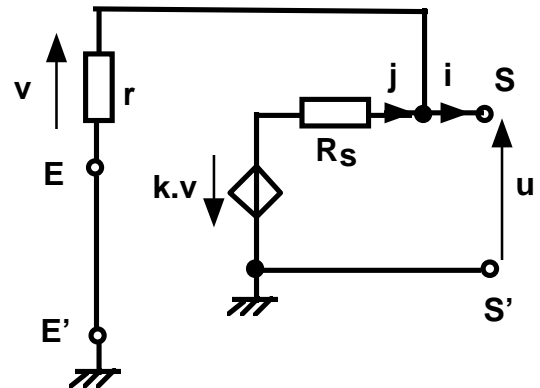
On annule v_e ; on a alors $u = v$, d'où :

$$j = \frac{-k v - u}{R_s} = -u \frac{k + 1}{R_s} = -\frac{u}{R_s / (k + 1)}$$

$$i = j + \frac{-u}{r} = -u \left(\frac{1}{R_s / (k + 1)} + \frac{1}{r} \right)$$

$$R_i = -\frac{u}{i} = r // \left(R_s / (k + 1) \right)$$

$$R_i = 100 \text{ k}\Omega // \left(0,1 \text{ k}\Omega / (101) \right) \approx 1 \Omega$$



I.2.c. Résistance d'entrée

On détermine cette résistance d'entrée pour un fonctionnement à vide en sortie (pas de charge connectée entre S et S') ; on a :

$$v = u - v_e = -0.01 v_e \text{ et } i_e = -\frac{v}{r} = 0.01 \frac{v_e}{r}$$

$$\text{D'où } R_e = \frac{v_e}{i_e} = \frac{r}{0.01} = 100 r = 10 \text{ M}\Omega$$

Le montage amplificateur a donc les caractéristiques suivantes :

- très grande résistance d'entrée ;
- résistance de sortie très faible.

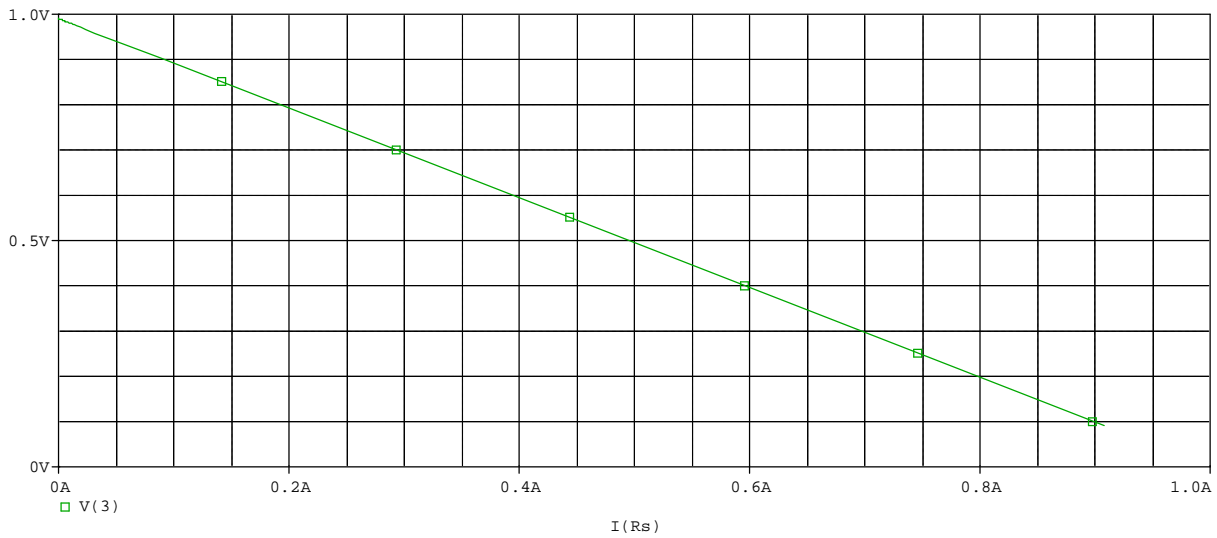
Cela signifie que ses caractéristiques sont proches de celles d'un amplificateur de tension idéal.

De plus, son amplification en tension à vide est voisine de 1 ; il fournit donc en sortie une tension pratiquement égale à celle appliquée à son entrée (on parle de **montage suiveur**), mais disponible sous une faible impédance de sortie. Il s'agit donc d'un **étage séparateur d'impédances**.

Vérification Spice

```
Exercice 11 bis
V1 1 0 dc 1
rin 1 3 100k
```

```
e1 0 2 3 1 100
Rs 2 3 100
Ru 3 0 {Ru}
.param Ru 1meg ; valeur par défaut de Ru
.dc param Ru .1 10k 10
.probe
.end
```



On retrouve bien une tension à vide de 0.99 Volts (donc une amplification de 0.99) et une pente de -1 (donc une résistance interne de 1Ω)

I.3

I.3.a Le produit gain – bande est égal à $100 \times 1000 = 100\ 000$

I.3.b On reprend l'expression :

$$u = v_e \frac{k + R_s/r}{1 + k + R_s/r}$$

De la tension de sortie à vide en y remplaçant k par l'expression proposée. Compte tenu des ordres de grandeur relatifs des différents termes, on obtient :

$$\frac{U}{V_e} \approx \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{k_0 \omega_0}}$$

La fréquence de coupure est multipliée par k_0 , tandis que le gain est divisé par k_0 par rapport au fonctionnement en boucle ouverte. On garde donc la même valeur pour le produit gain – bande passante.

II. Etude d'un amplificateur audiofréquences

On donne en annexe les caractéristiques techniques d'un préamplificateur/amplificateur de puissance Yamaha AX-590, qui date d'une quinzaine d'années et dont le rédacteur de ce TD possède un exemplaire.

Comme la dénomination l'indique, **cet amplificateur se compose de deux parties cascadées** dans cet ordre :

- **l'amplificateur d'entrée ou préamplificateur, qui amplifie essentiellement la tension d'entrée** ; c'est à ce niveau qu'agissent les correcteurs de tonalité et les sélecteurs de source d'entrée ; il est très important que son premier étage soit à très faible bruit ;
- **l'amplificateur de puissance, qui amplifie essentiellement le courant (et à travers lui, bien évidemment la puissance)**, de façon à fournir à la charge que constitue le (ou les) haut-parleur la puissance suffisante à la mise en mouvement de sa membrane une donnée importante est la **faible impédance (typiquement 8Ω) de la charge constituée par ce haut-parleur.**



II.1. Etude de l'amplificateur de puissance

II.1.a Que signifient selon vous les premières données "Puissance de sortie minimum RMS par canal sur 8Ω , sur 6Ω " ?

Le qualificatif "minimum" signifie en fait qu'il s'agit d'une valeur "maximum" (bouton de volume à fond avec source adéquate) garantie.

RMS signifie qu'il s'agit d'une valeur efficace (Root Mean Square)

Les 8 et 6Ω correspondent à des charges résistives.

II.1.b Calculez les valeurs efficaces U_1 et U_2 de la tension de sortie sur 8Ω , sur 6Ω dans les conditions de l'essai précédent, ainsi que celles des valeurs efficaces I_1 et I_2 dans la charge ?

$$P = U^2/R \text{ d'où } U_1 = 28.3 \text{ V et } U_2 = 26.8 \text{ V}$$

$$I_1 = U_1 / 8 = 3.5 \text{ A et } I_2 = U_2 / 6 = 4.5 \text{ A}$$

II.1.c En déduire la valeur de la résistance de sortie R_S de l'amplificateur ainsi que la valeur efficace U_0 de la tension de sortie à vide à pleine puissance.

$$U_1 = U_0 8 / (8 + R_S) \text{ et } U_2 = U_0 6 / (6 + R_S), \text{ d'où } R_S \approx 1.63 \Omega$$

$$U_0 = U_1 (8 + R_S) / 8 = 34 \text{ V}$$

En réalité, il est vraisemblable que l'étage de puissance est contre-réactionné, donc avec une résistance de sortie quasi-nulle et c'est plutôt une limite en courant de l'alimentation (volontaire ou involontaire) qui fait que la puissance n'est pas inversement proportionnelle à la résistance de charge

II.1.c En admettant que le rendement de l'amplificateur de puissance est de 70 %, que la puissance absorbée par le préamplificateur est négligeable et que le $\cos\phi$ de l'appareil est égal à un, calculez la valeur efficace du courant dans le câble d'alimentation secteur à pleine puissance sur 8Ω .

A pleine puissance, les $2 \times 100 \text{ W}$ fournis aux charges de 8Ω représentent 70 % de la puissance fournie par le secteur à l'appareil ; cette dernière vaut donc : $(200/70) \times 100 = 286 \text{ W}$.

Cette puissance est fournie sous une tension de 220 V ; l'intensité efficace du courant dans les conducteurs du cordon secteur vaut donc : $286 / 220 = 1.3 \text{ A}$

II.2. Etude des entrées phono

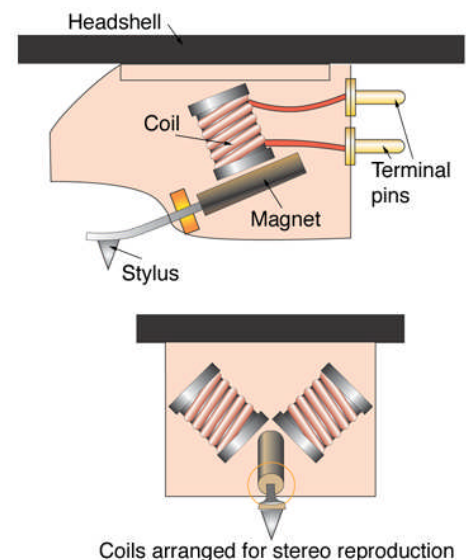
II.2.a Donner le principe physique des cellules magnétiques qui équipent les platines tourne-disque vynil.

L'entrée phono MM correspond à une cellule à aimant mobile (Moving Magnet) tandis que l'entrée MC correspond à une cellule à bobine mobile (Moving Coil). Les données de sensibilité d'entrée correspondent à la valeur efficace de la tension d'entrée sinusoïdale qui donne la pleine puissance de sortie (bouton de volume à fond).

II.2.b Quels sont d'après vous les avantages et les inconvénients respectifs des cellules MM et des cellules MC ?

Les cellules MM fournissent un signal de valeur plus élevée (donc moins d'amplification nécessaire).

L'équipage mobile des cellules MC est plus léger, d'où une meilleure réponse en haute fréquence et aux transitoires ; par contre, elles fournissent un signal plus faible, d'où plus de problèmes potentiels de bruit et une nécessité d'amplifier d'avantage.



II.2.c Déterminez l'amplification en tension à vide de la chaîne complète pour chacune des deux entrées, ainsi que le schéma équivalent de ces chaînes.

Sur l'entrée MM, l'amplification en tension à vide de la chaîne complète est : $A_{V0} = 34 / 2.5 \cdot 10^{-3} = 13600$

Sur l'entrée MC, $A_{V0} = 34 / 160 \cdot 10^{-6} = 212\,500$

La résistance d'entrée est de $4.7 \text{ k}\Omega$ sur l'entrée MM et de 220Ω sur l'entrée MC. Les résistances de sortie ont la même valeur, soit 1.63Ω calculés précédemment.

II.2.d Déterminez l'amplification en tension en charge (8Ω) de la chaîne complète pour chacune des deux entrées.

Sur l'entrée MM, l'amplification en tension en charge de la chaîne complète est : $A_V = 28.3 / 2.5 \cdot 10^{-3} = 11300$. Elle est égale à $A_{V0} \cdot \frac{8}{8 + R_S}$

Sur l'entrée MC, l'amplification en tension en charge de la chaîne complète est : $A_V = 28.3 / 160 \cdot 10^{-6} = 177000$.

II.2.e Déterminez l'amplification en puissance (charge 8Ω , pleine puissance) de la chaîne complète pour chacune des deux entrées.

$$A_P = (A_V)^2 R_e / R_c = (11300)^2 \cdot 47000 / 8 = 7.5 \cdot 10^{11} \text{ pour l'entrée MM}$$

$$A_P = (A_V)^2 R_e / R_c = (176874)^2 \cdot 220 / 8 = 8.6 \cdot 10^{11} \text{ pour l'entrée MC}$$

II.3. Etude avec une cellule à aimant mobile

Vous disposez d'une cellule à aimant mobile Ortofon 2M Black (2008) dont on donne quelques caractéristiques :

Open circuit Output voltage at 1000 Hz, 5cm/sec. 5 mV

Internal impedance, DC resistance 1.2 k Ω

Internal inductance 630 mH

Recommended load resistance 47 k Ω

Recommended load capacitance 150-300 pF



II.3.a Calculez son impédance interne à 1 kHz (approximée à 10 %).

A 1 kHz, la réactance de la cellule vaut environ 4 k Ω ; à 10% près, on peut négliger le carré de la partie résistive de l'impédance devant celui de la réactance et dire que l'impédance interne est de l'ordre de 4 k Ω (j 4000).

II.3.b. On connecte cette cellule à l'entrée MM de l'amplificateur.

Quelle sera la valeur de la tension d'entrée ; pourra-t-on atteindre la pleine puissance en sortie ?.

La résistance d'entrée du préamplificateur MM (47 k Ω) est grande (calculs à 10 %) devant l'impédance interne de la cellule ; la valeur de la tension d'entrée sera donc à peu de chose la tension à vide de la cellule, soit 5 mV. C'est plus grand que la sensibilité (2.5 mV) ; on atteindra donc la pleine puissance.

II.3.c. Par erreur, on relie la sortie de la cellule à l'entrée MC de l'amplificateur.

Quelle sera la valeur de la tension d'entrée (calcul à 10% près). Pourra-t-on obtenir la pleine puissance en sortie ?

La résistance d'entrée MC est de 220 Ω , ce qui est petit devant l'impédance interne de 4 k Ω qui va imposer le courant, soit 5 mV / 4 k Ω ; la tension d'entrée vaut (5 mV / 4 000) x 220 = 0.275 mV > 160 μ V. On obtiendra donc la pleine puissance.

II.3.d. Toujours par erreur, on relie la cellule à l'entrée CD de l'amplificateur. Quelle puissance maximum obtiendra-t-on en sortie ?

La tension d'entrée vaudra 5 mV. La pleine puissance, soit 100 W sur 8 Ω , est obtenue pour 150 mV. On aura donc en sortie : $100 \times (5/150)^2 \approx 0.1 \text{ W}$

SPECIFICATIONS

<p>Minimum RMS Output Power per Channel</p> <p><AX-590></p> <p>8 ohms, 20 Hz to 20 kHz, 0.015% THD100W+100W</p> <p>6 ohms, 20 Hz to 20 kHz, 0.03% THD120W+120W</p> <p><AX-490></p> <p>8 ohms, 20 Hz to 20 kHz, 0.019% THD85W+85W</p> <p>6 ohms, 20 Hz to 20 kHz, 0.038% THD100W+100W</p> <p>Dynamic Power per Channel (by IHF Dynamic Headroom measuring method)</p> <p><AX-590></p> <p>8/6/4/2 ohms.....140/170/220/290W</p> <p><AX-490></p> <p>8/6/4/2 ohms.....130/150/185/220W</p> <p>DIN Standard Output Power per Channel (4 ohms, 1 kHz, 0.7% THD) [Europe model only]</p> <p><AX-590>.....150W</p> <p><AX-490>.....120W</p> <p>IEC Power [Europe model only]</p> <p><AX-590></p> <p>(8 ohms, 1 kHz, 0.015% THD).....110W</p> <p><AX-490></p> <p>(8 ohms, 1 kHz, 0.019% THD).....100W</p> <p>Power Band Width</p> <p><AX-590></p> <p>8 ohms, 50W, 0.03% THD10 Hz to 50 kHz</p> <p><AX-490></p> <p>8 ohms, 42.5W, 0.038% THD10 Hz to 50 kHz</p> <p>Damping Factor</p> <p>8 ohms, 20 Hz-20 kHz</p> <p><AX-590>.....more than 320</p> <p><AX-490>.....more than 240</p> <p>Damping Factor (DIN)</p> <p>4 ohms, 40 Hz [Australia, U.K. and Europe models]</p> <p><AX-590>.....more than 160</p> <p><AX-490>.....more than 120</p> <p>Maximum Power (EIAJ)</p> <p>1 kHz, 10% THD [General model only]</p> <p><AX-590></p> <p>8 ohms.....145W</p> <p>6 ohms.....170W</p> <p><AX-490></p> <p>8 ohms.....130W</p> <p>6 ohms.....150W</p> <p>Input Sensitivity/Impedance</p> <p>PHONO MM.....2.5 mV/47 k-ohms</p> <p>PHONO MC <AX-590 only></p> <p>.....160 µV/220 ohms</p> <p>CD/TUNER/TAPE/AUX.....150 mV/47 k-ohms</p> <p>MAIN IN <AX-590 only>.....1.0V/10 k-ohms</p>	<p>Maximum Input Signal (1 kHz, 0.007% THD)</p> <p><AX-590></p> <p>PHONO MM.....150 mV</p> <p>PHONO MC.....10 mV</p> <p>Maximum Input Signal (1 kHz, 0.003% THD)</p> <p><AX-490></p> <p>PHONO MM.....115 mV</p> <p>Output Level/Impedance</p> <p><AX-590></p> <p>REC OUT.....150 mV/470 ohms</p> <p>PRE OUT.....1.0V/1 k-ohms</p> <p><AX-490></p> <p>REC OUT.....150 mV/470 ohms</p> <p>Headphone Jack Rated Output/ Impedance</p> <p><AX-590></p> <p>Output Level (8 ohms, 0.015% THD)0.33V</p> <p>Impedance.....680 ohms</p> <p><AX-490></p> <p>Output Level (8 ohms, 0.019% THD)0.3V</p> <p>Impedance.....680 ohms</p> <p>Frequency Response (20 Hz to 20 kHz)</p> <p>CD/TUNER/TAPE/AUX.....0±0.5 dB</p> <p>MAIN IN <AX-590 only>.....0±0.5 dB</p> <p>RIAA Equalization Deviation (20 Hz to 20 kHz)</p> <p>PHONO MM.....±0.3 dB</p> <p>PHONO MC <AX-590 only>.....±0.5 dB</p> <p>Total Harmonic Distortion (20 Hz to 20 kHz)</p> <p><AX-590></p> <p>PHONO MM to REC OUT (3V).....0.003%</p> <p>PHONO MC to REC OUT (3V).....0.007%</p> <p>CD/TUNER/TAPE/AUX to PRE OUT (1V)0.005%</p> <p>CD/TUNER/TAPE/AUX to SP OUT (50W/8 ohms).....0.008%</p> <p><AX-490></p> <p>PHONO MM to REC OUT (3V).....0.003%</p> <p>CD/TUNER/TAPE/AUX to SP OUT (42.5W/8 ohms).....0.008%</p> <p>Intermodulation Distortion (Rated output/8 ohms).....0.01%</p> <p>Signal-to-Noise Ratio (IHF-A Network)</p> <p><AX-590></p> <p>PHONO MM (5 mV Input Shorted)92 dB</p> <p>PHONO MC (500 µV Input Shorted)76 dB</p> <p>CD/TUNER/TAPE/AUX (Input Shorted) (CD DIRECT AMP; ON).....110 dB</p> <p><AX-490></p> <p>PHONO MM (5 mV Input Shorted)88 dB</p> <p>CD/TUNER/TAPE/AUX (Input Shorted) (CD DIRECT AMP; ON).....110 dB</p> <p>Residual Noise (IHF-A Network)</p> <p>(CD DIRECT AMP; ON).....35 µV</p> <p>(PURE DIRECT; ON).....90 µV</p>	<p>Channel Separation (Vol. -30 dB)</p> <p><AX-590></p> <p>PHONO MM/MC (Input Shorted 1 kHz/10 kHz).....75 dB/60 dB</p> <p>CD/TUNER/TAPE/AUX (Input 5.1 k-ohms Terminated 1 kHz/10 kHz).....65 dB/50 dB</p> <p><AX-490></p> <p>CD/TUNER/TAPE/AUX (Input 5.1 k-ohms Terminated 1 kHz/10 kHz).....65 dB/50 dB</p> <p>Tone Control Characteristics</p> <p>BASS: Boost/cut.....±10 dB (20 Hz) Turnover Frequency.....(350 Hz)</p> <p>TREBLE: Boost/cut.....±10 dB (20 kHz) Turnover Frequency.....(3.5 kHz)</p> <p>Filter Characteristics <AX-590 only></p> <p>SUBSONIC FILTER.....15 Hz, -18 dB/oct</p> <p>Continuous Loudness Control Attenuation.....-30 dB (1 kHz) (Level related equalization)</p> <p>Gain Tracking Error (0 to -60 dB).....2 dB</p> <p>Power Supply</p> <p>[U.S.A. and Canada models]AC 120V, 60 Hz</p> <p>[Australia and U.K. models]AC 240V, 50 Hz</p> <p>[Europe model].....AC 230V, 50 Hz</p> <p>[General model]AC 110/120/220/240V, 50/60 Hz</p> <p>Power Consumption</p> <p><AX-590></p> <p>[U.K., Europe, Australia and General models].....210W</p> <p><AX-490></p> <p>[U.S.A. model].....190W</p> <p>[Canada model].....320 VA, 250W</p> <p>[U.K., Europe, Australia and General models].....210W</p> <p>AC Outlets</p> <p>[U.S.A., Canada, Europe and General models] 3 SWITCHED OUTLETS100W max. total</p> <p>[U.K. and Australia models] 1 SWITCHED OUTLET100W max. total</p> <p>Dimensions (W x H x D)</p> <p><AX-590>.....435 x 146 x 388.5 mm (17-1/8" x 5-3/4" x 15-5/16")</p> <p><AX-490>.....435 x 146 x 386 mm (17-1/8" x 5-3/4" x 15-3/16")</p> <p>Weight</p> <p><AX-590>.....10.4 kg (22 lbs. 14 oz.)</p> <p><AX-490>.....9.2 kg (20 lbs. 4 oz.)</p> <p>Accessories.....Remote control transmitter Batteries</p>
---	--	---

Specifications subject to change without notice.