شرح مختصر ومبسط

لمحاضرة رقم (4)

Bode plot method

* تمثل طريقة bodeplot هي الطريقة الثالثة ضمن Freqency Resp- لتحديد استقرارية C.L.T.F بالاعتماد على معادلة O.L.T.F = GH وتكون هذه الطريقة من رسمين على ورقة لوغارتمية والمرفق نسخة منها

① الرسم الاول هو رسم $M = |G(jw)|$ كمحاور y مع التردد w كمحاور x

② الرسم الثاني هو رسم معادلة phase ϕ كمحاور y مع التردد w كمحاور x

* الورقة اللوغارتمية وكما يلاحظ بالنسخة المرفقة لكم فيها حزم كل حزمة متكونة من عشرة خطوط عمودية غير متساوية بالمسافة. تسمى الحزمة decade (الحزمة العشرية) ، تبدأ الحزمة الاولى ب

الحزمة الاولى $w_1 = 0.1 \longrightarrow 1$

$\underset{\text{الحزمة الثانية}}{w_2} = 10 * w_1$

$w_2 = 10 \longrightarrow 100$

لذلك $\underset{\text{الحزمة الثالثة}}{w_3} = 10 * w_2$

$\therefore\ w_3 = 100 \longrightarrow 1000$

* يتم اولاً رسم (Mag M & w) وبعده يتم رسم phase ϕ وكما موضح بالورقة اللوغارتمية المرفقة

* بعد اكمال الرسمين يتم ايجاد المتغيرات التالية

① gain Crossover freq. (w_g) $\xleftarrow{M=0}$ وهو قيمة w عند

② phase crossover freq (w_p) $\xleftarrow{\phi=180^\circ}$ وهو قيمة w عند

③ Gain Margin $G.M = -M|_{w=w_p}$ $\leftarrow$ وهو قيمة M عند التردد w_p

الكسب الحرج

④ phase Margin $P.M = 180 + \phi \Big|_{w=wg}$

الزاوية ، درجة

* بعد اجراء حسابات يتم ملاحظة ما يلي

① اذا كانت المنظومة (O.L.T.F = GH) مستقرة (لان جميع الجذور (zero + poles) تقع بالجانب الايسر)

فان C.L.T.F يكون مستقر (stable or Min phase) اذا كانت G.M & P.M موجبة +ve

واذا لم يتحقق ذلك فان C.L.T.F ← unstable (non Min. phase)

② اذا كانت المنظومة GH غير مستقرة (لان احد جذورها poles or zeros تقع بالجانب الايمن)

فان C.L.T.F يكون مستقر اذا كان G.M & P.M سالبة -ve

واذا لم يتحقق ذلك فان C.L.T.F يكون غير مستقر.

الخطوات العامة لرسم bode

① ايجاد ما يعرف corner freq. (تردد الزاوية الانعطاف) or break freq. (wc) ← والذي هو قيمة الثابت للحد الذي معامل (s) له واحد الامثلة التالية توضح حساب wc

① Ex1:

$$G(s) = \frac{(s+\overset{w_{c1}}{1})}{s(\underset{w_{c2}}{\underline{s+2}})(\underset{w_{c3}}{\underline{s+5}})}$$

$$\text{or } G(s) = \frac{(\overset{T_1}{s}+1)}{s(\underset{T_2}{\underline{0.5s}}+1)(\underset{T_3}{\underline{0.2s}}+1)}$$

هنا توجد ثلاثة wc

$w_{c1} = 1$

$w_{c2} = 2$

$w_{c3} = 5$

$w_{c1} = \frac{1}{T_1} = 1$

$w_{c2} = \frac{1}{T_2} = 2 , w_{c3} = \frac{1}{T_3} = 5 \text{ rad/sec}$

③ Ex2: $G(s) = \dfrac{(s+\overset{w_{c_1}}{\boxed{2}})}{s(s^2+4s+\underset{w_c^2}{\underline{\underline{9}}})}$

$w_{c_1} = 2$ rad/sec

$w_{c_{2,3}} = \sqrt{9} = \mp 3$ rad/sec

$\uparrow$ لانه خاص 2nd order

تم اخذ الجزء الموجب فقط

or

$G(s) = \dfrac{2(\overset{T_1}{\boxed{0.5}}s+1)}{s(\underset{T^2}{\underline{\underline{\frac{1}{9}}}}s^2+\frac{4}{9}s+1)}$

$\Rightarrow w_{c_1} = \dfrac{1}{T_1} = \dfrac{1}{0.5} = 2$ rad/sec.

$\Rightarrow w_{c_{2,3}} = \sqrt{\dfrac{1}{T^2}} = \sqrt{9} = \mp 3$ rad/sec

يوخذ التردد الموجب فقط

② الخطوة الثانية لرسم bode هو تحويل معادلة $GH(s) \rightarrow GH(j\omega)$

③ ايجاد معادلة $M = |GH(j\omega)|$ ومعادلة phase ϕ (حسب الطريقة السابقة)

* معادلة M تختلف عن طريقة polar or Nyquist انها تتضمن اضافة 20log كل حد موجود بالمعادلة

Ex: $GH(s) = \dfrac{K}{s(s+1)(2s+1)} \Rightarrow GH(j\omega) = \dfrac{K}{j\omega(j\omega+1)(2j\omega+1)}$

$M = \underbrace{20\log k}_{\text{حد البسط}} - (20\log \text{ حدود المقام})$

$M = 20\log k - (20\log|j\omega| + 20\log|j\omega+1| + 20\log|2j\omega+1|)$

$= \underbrace{20\log k - 20\log \omega - 20\log\sqrt{1+\omega^2} - 20\log\sqrt{(2\omega)^2+1}}$

اي يتم اخذ Mag لكل حد بالبسط والمقام ويضاف له 20log

④ خطوة رقم ٤ يتم حساب نقطة بداية الرسم وحسب القانون التالي

نقطة بداية الرسم $\underline{\underline{s.p}} = 20\log \text{الثابت بالبسط} + \underbrace{20\log(w)^{n}}$

starting point

اذا يوجد s
او s^2 .. او s^n بالمعادلة
يضاف هذا الحد

⑤ يتم عمل جدول وبالشكل التالي

w التردد	M	Φ
0.1	→ s.p	
w_{c1}		
w_{c2}		
⋮		
نقطة تردد نهاية يتم اختياره		

يتم تعويض قيم التردد بمعادلة Φ & M

وايجاد القيم ووضعها بالجدول

⑥ يتم تحديد النقاط على الورقة اللوغارتمية والتوصيل بينهم

⑦ بعد اكمال الرسمين يتم ايجاد P.M، G.M، wp، wg لمعرفة هل ان C.L.T.F مستقر او لا

⑧ كل الملاحظات التي ذكرته بمحاضرة Nyquist بخصوص 180 للزاويا تطبق هنا
عندما اشارة البسط (سالبة) والملاحظات اخرى

* لترسيخ هذه الخطوات بشكل اكثر وضوحاً يتم حل السؤال التالي

EX1: sketch bode plot and determine wg, wp, G.M, P.M and comment on C.L. stability $GH = \frac{10}{s(0.5s+1)(0.1s+1)}$

(P.8.1 Ch8)

<u>sol</u>

$$GH(jw) = \frac{10}{jw(\underbrace{0.5}_{T_1}jw+1)(\underbrace{0.1}_{T_2}jw+1)}$$

$w_{c1} = \frac{1}{T_1} = 2$ rad/sec

$w_{c2} = \frac{1}{T_2} = 10$ rad/sec

معادلة

$$M = |GH(j\omega)| = 20\log\left(\frac{10}{|j\omega|\cdot|1+0.5j\omega|\cdot|1+0.1j\omega|}\right)$$

$$M = \underbrace{20\log 10}_{\text{مقدار البسط}} - \text{مجموع مقدار المقام}$$

$$M = 20\log 10 - 20\log|j\omega| - 20\log|1+0.5j\omega| - 20\log|1+0.1j\omega|$$

$$= 20\log 10 - 20\log\sqrt{\omega^2} - 20\log\sqrt{1+(0.5\omega)^2} - 20\log\sqrt{1+(0.1\omega)^2}$$

$$M = 20\log 10 - 20\log \omega - 20\log\sqrt{1+0.25\omega^2} - 20\log\sqrt{1+0.01\omega^2}$$

$$\phi = \text{مجموع زوايا البسط} - \text{مجموع زوايا المقام}$$

$$= 0 - \underbrace{\tan^{-1}\frac{0.5\omega}{1}}_{\text{زاوية } 1+0.5j\omega} - \underbrace{\tan^{-1}\frac{0.1\omega}{1}}_{\text{زاوية } 1+0.1j\omega} - \underbrace{90}_{\text{زاوية } j\omega}$$

لا يوجد زاويا

$$s.p = 20\log 10 - \boxed{20\log \omega}$$

الثابت البسط

هذه الحد لوجود (jw) بالمقام لذا الاشارة سالبه

تم تعويض تردد نقطة البداية والتي هي 0.1

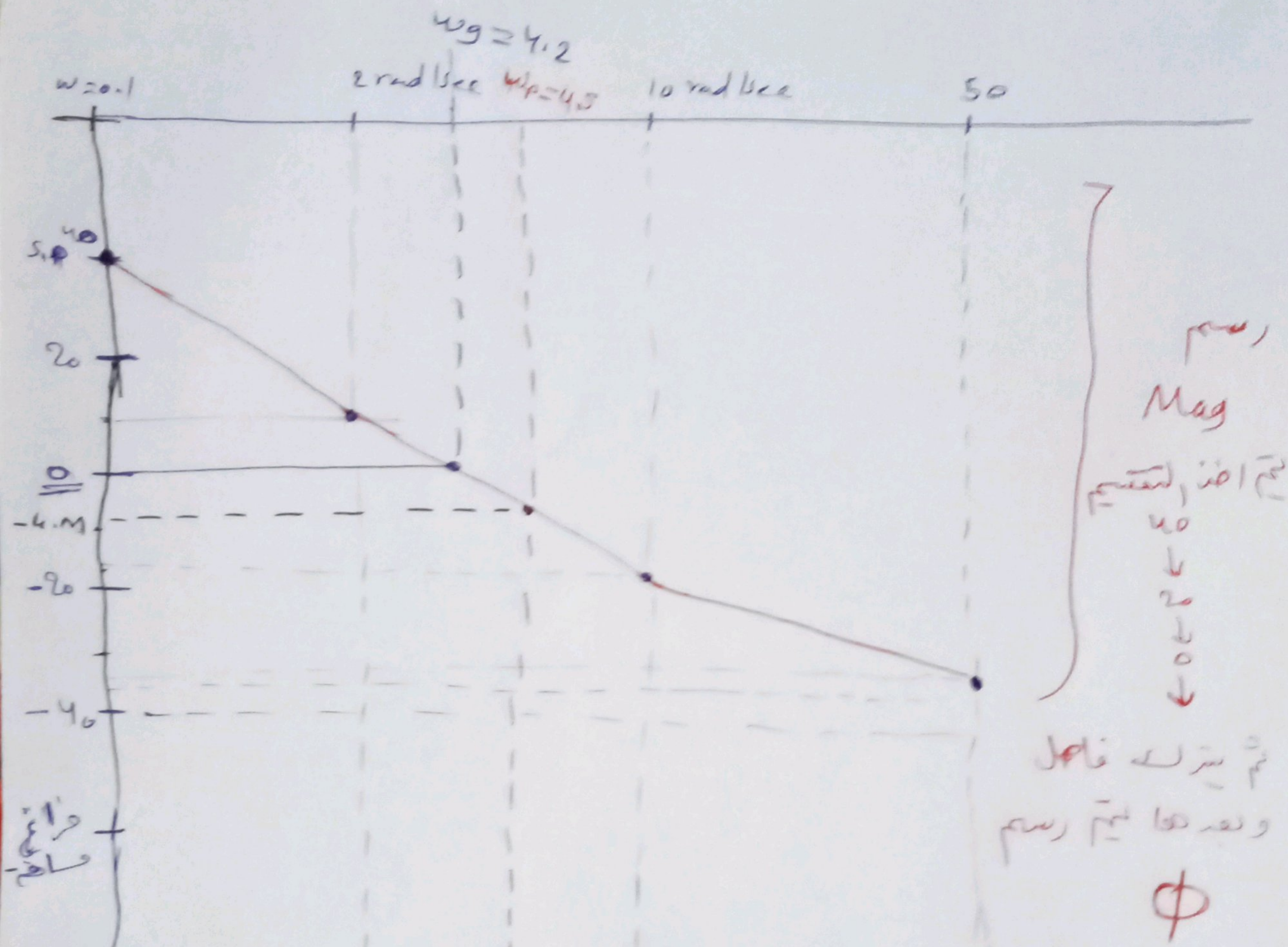
$$= 20 - 20\log 0.1$$

$$= 20 + 20 = 40\ db\backslash dec$$

مختصر decade عزمة

* تم بعدها عمل جدول ← وكما يلي

w	M	Φ
0.1 تردد البداية	s.p = 40	-93.43°
$wc_1 = 2$	10.8	-146.31°
$wc_2 = 10$	-17.16	-213.7°
50 تم اختياره	-36.1	-256.4°



رسم Mag
تم اخذ التقسيم
40
↓
20
↓
0
↓
ثم يترك فاصل
وبعدها يتم رسم
Φ

رسم Φ
يؤخذ فرق
بين التقسيم
واخذ 40°

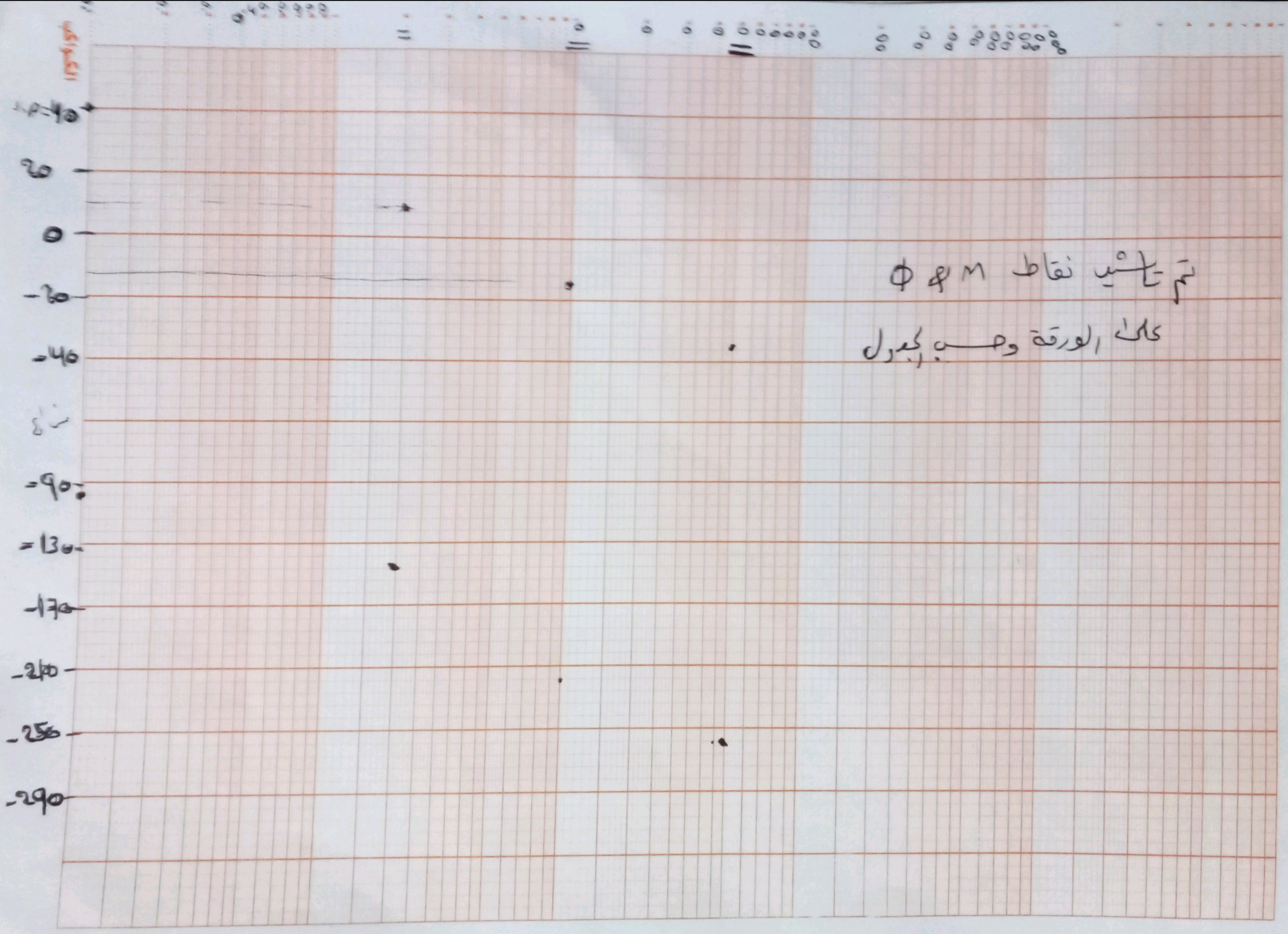
تلاحظ من الرسم وايجاد المتغيرات

$w_g = 4.2$ rad/sec التردد عند $M = 0$

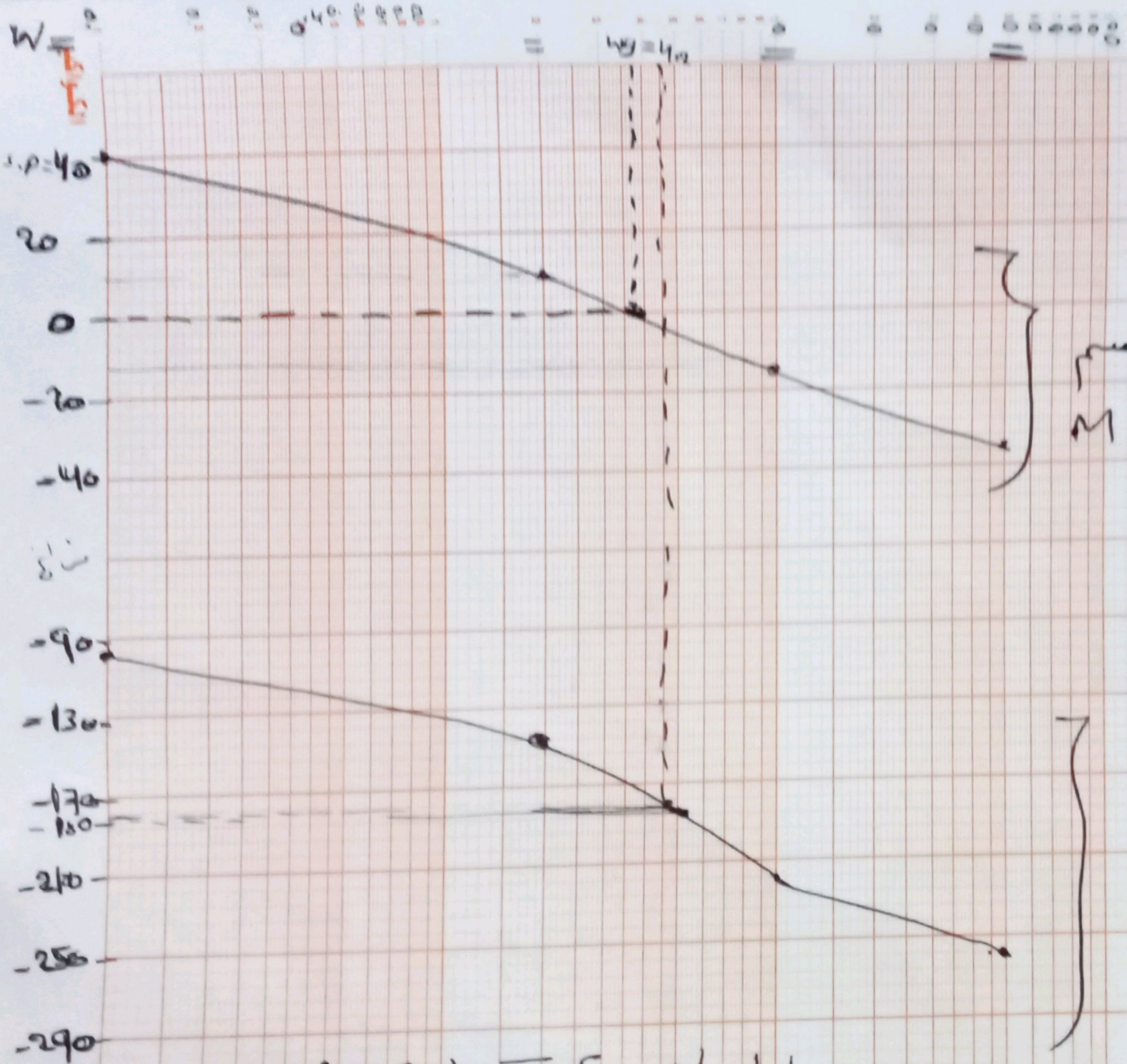
$w_p = 4.5$ rad/sec التردد عند $\Phi = -180$

$G.M = -M|_{w=w_p} = 8$ dB

$$P.M = 180 + \Phi|_{w=w_g}$$
$$= 180 + (-170)$$
$$= +10$$



تم تأشير نقاط M & Φ
على الورقة وحسب الجدول



تم تأشير نقاط M & Φ على الورقة وحسب الجدول

wg = 4.2 rad/sec

wp = 4.5 rad/sec

$G.M = -M\Big|_{w=w_p} = 8\ db$

رسم Φ

$P.M = 180 + \Phi\Big|_{w=w_g}$

$= 180 - 170$

$= 10$

∴ C.L.T.F stable

because G.M & P.M are +ve