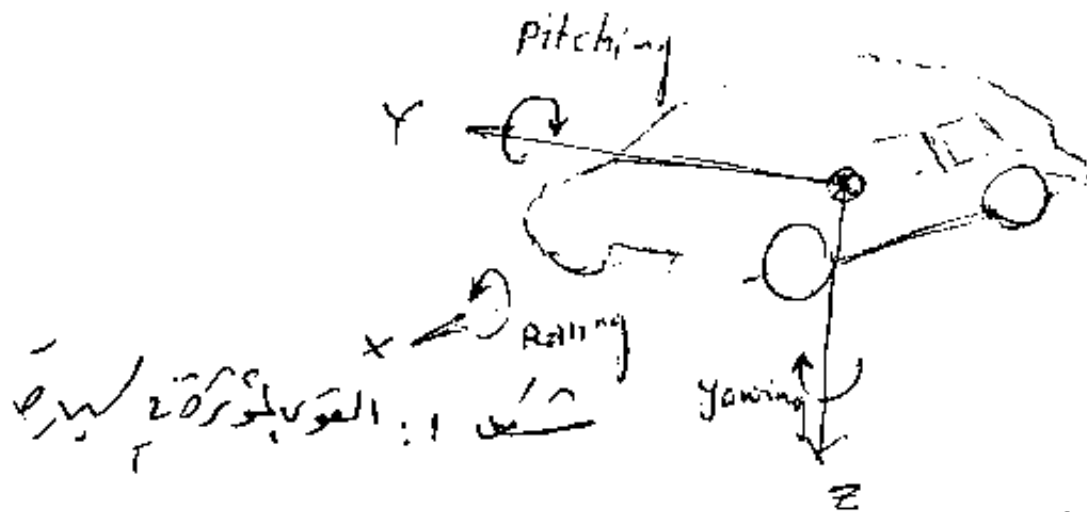
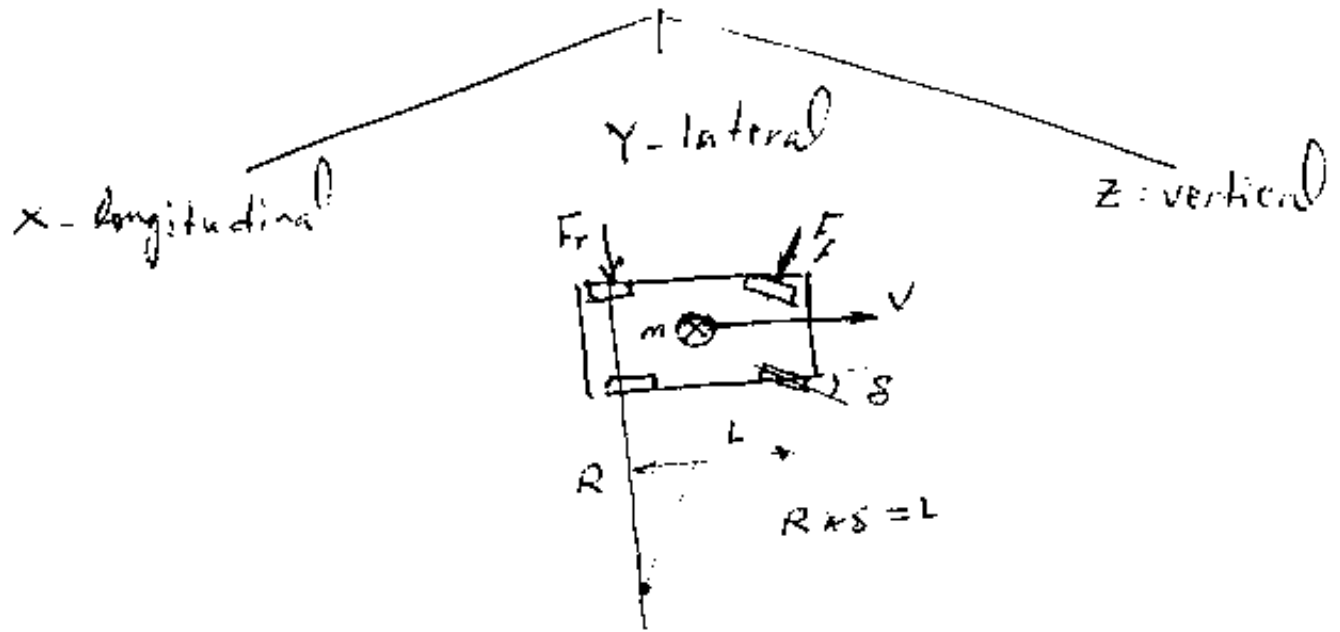


ديناميك سيارات (المرحلة الرابعة)

الوحدات 5
عدد الأسابيع

نظري : 2 ساعة / أسبوع
عملي : 1 ساعة / أسبوع
مناقشة : 1 ساعة / أسبوع
المفردات

- 1- مقدمة في استدارة السيارة
- 2- نظرية استدارة السيارات
- 3- انقلاب السيارات أثناء الاستدارة
- 4- انزلاق السيارات أثناء الاستدارة
- 5- مسائل في استدارة ، انقلاب وأنزلاق السيارات
- 6- الديناميكيا العرضية
- 7- القوى الجانبية للأطارات – زوايا الانزلاق والحمل
- 8- التعجيل الجانبي وعزم التصور الذاتي
 - السلوك الترددي
 - الاهتزازات الحرة
 - سلوكيات المركبة (المحايدة ، السالبة ، الموجبة)
- 9- استجابة الإنسان للاهتزازات العمودية
 - اهتزاز المركبة اذا كانت ذو درجة حرية حركة واحدة
 - الاهتزازات الحرة
 - الاهتزازات العسرية
- 10- الاهتزازات لدرجتين من حرية الحركة للسيارات
- 11- السلوك التوافقي لعدم استوائية الطريق
- 12- مقاييس العوم والأمان - راحة المسير
- 13- الاهتزاز الشاقولي Vertical Vibration
 - المعادلات الحركية ، الدوال التحويلية
 - الترددات الطبيعية ، الخصائص الأحصائية
 - تأثير معالم المنظومة
 - تعليق المقاعد على نوابض
 - التركيب على نوابض غير خطية
- 14- الأنعطاف – الاهتزاز الأنعطافي Rolling vibration
 - المعادلات الحركية
 - القوى الحركية
 - اهتزاز محاور الدواليب
 - الكثافة الطيفية للقوى الحركية
- 15- التآرجح – الاهتزاز التآرجحي Pitchinh vibration



نوع حركته سير المركبة الأرضية فهو من المظهرين الحركيين للأجسام المستديرة - من حركته الحركية التفاضلية الحركية وهذا

Longitudinal motion
Lateral motion
vertical motion
Rolling motion
Pitching motion
yawing motion

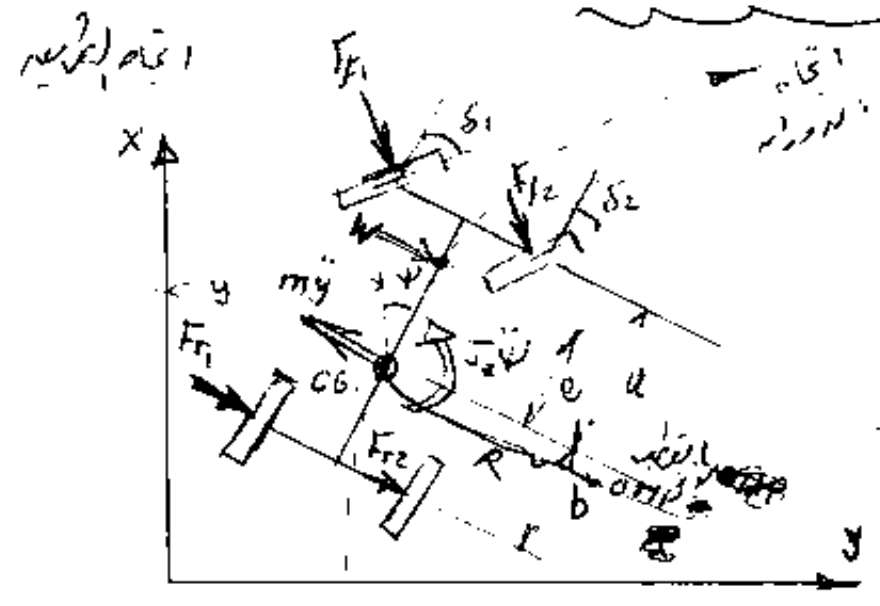
- 1- الحركة الطولية باتجاه x
- 2- الحركة العرضية باتجاه y
- 3- الحركة الدورانية (الانحراف) باتجاه z
- 4- الحركة العرضية حول x
- 5- الحركة الطولية حول y
- 6- الحركة الانحرافية حول z

2

ففي حالة الديناميكا العرضية التي يدرسها في هذا الفصل نلتقي به راساً
 حركة السيارة الجانبية باتجاه المحور (y) والدوران حول المحور المماسي (z)
 المار بمركز ثقلها.

أي يكون بحسب السيارة نقطتي ديفان عن حركة الحركة.

* نموذج لاستدارة السيارة في منطف

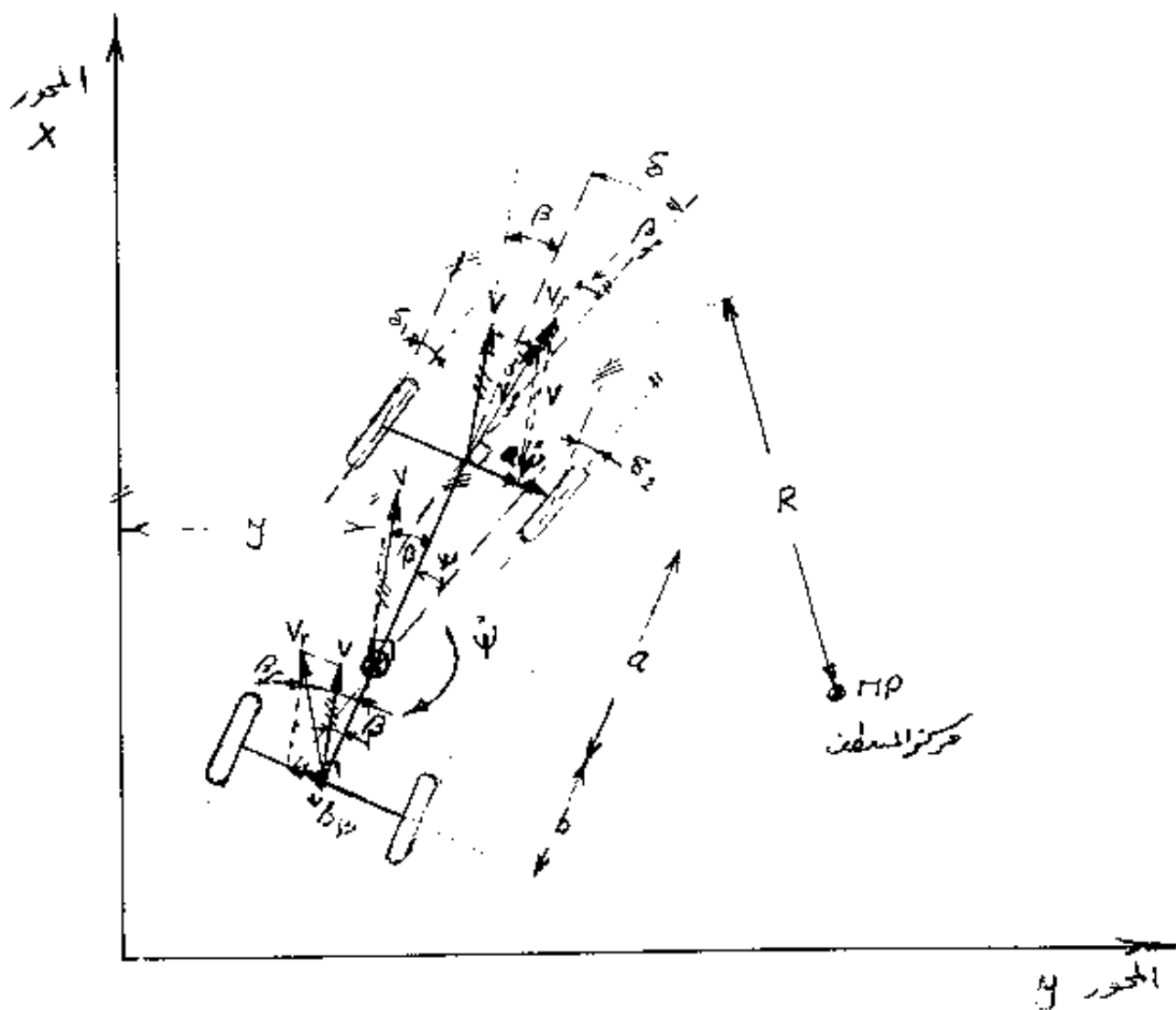


شكل 2 :
 القوى والعزم المؤثرة في سيارة
 حول استدارة في منطف .
 درجتين حرية الحركة :
 الحركة y والدوران حول z المحور
 شرجية ψ .

في شكل النموذج 2 نتحدد شغل استدارة سيارة تير للاجانب حسيو
 باتجاه المحور x . ونتيجة لتأثير زاويتي استدارة المركبتين الارضيتين (δ_1, δ_2) .
 في حالة الاستدارة في منطف مثلاً او نتيجة لتأثير محصلة (عزم) الجانبية للرياح (W)
 تعرف سيارة عدم الاتزان بسايقه (x) عتد الدراحة (y) وتدور حول مركز ثقلها
 برادبية ψ .

ان تركيب المركبتين الدراحيه (y) والدورانية (ψ) معاً لسيارة استدارة لبيارة
 حول مايسمى بالنقطة اللاي (MP) - نقطة قطار (R) ونتيجة لذلك تؤثر قوة
 لمارحة للارضية $(m\ddot{y})$ في مركز ثقل السيارة CG . والذم $J\ddot{\psi}$
 حسب -

\ddot{y} - lateral acceleration
 m - vehicle's mass



٧٢ : المعلومات الدينية تبليغية للسرعة في المحرر الدعوي
٧٣ : نيج مركز الشهد ٧ خلال الاستعداد في سعة
من حرية الحركة (الراحة الحسية) والدراسة حول مركز الشهد
بمروسة لها

④

$$\cos(4) = 1$$

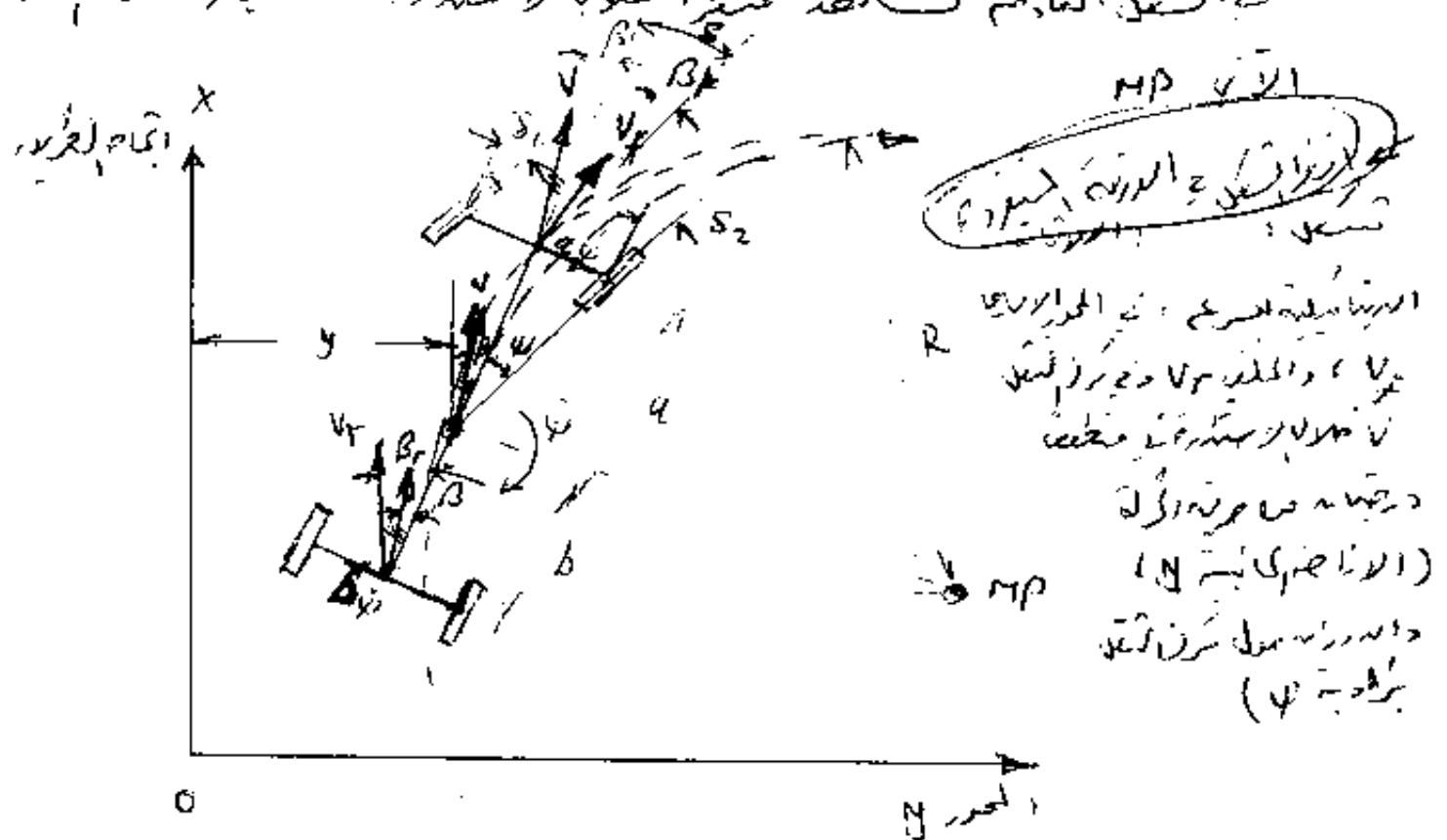
نقوم ان نضع حركة السعد عدم الارض (h) تسليلاً . بحيث لا يؤثر عن
القوة المطبوعة الاثرية (h) الناتجة من الاستدرة في الحمل كل
الاحداث الاصلية والخاصية وذلك يؤثر في صيرورة صي السيارة .
بعد الاخذ بالترهيبات المذكورة العلوية يمكن كتابة معادلات توازن جميع القوى
المؤثرة في الوتاج العرضي (h) كالآتي :

$$S_f + S_r + W - m\ddot{y} = 0 \quad [N] \quad \text{--- (4) (1)}$$

(2) د مقررہ معاوضہ آئینہ البرزسم ہول سیرا المستی (GG)

$$S_f \cdot a - S_r \cdot b + W \cdot c - J_z \cdot \psi = 0 \text{ [Nm]} \quad \text{--- (8)}$$

في المتن العام ثمة غيراً ملحوظاً لاستدرة البقرة حول التمدد



⑥

وكذلك كان للسرعة الكلية في المحور الكلي V_r

$$\vec{V}_r = \vec{V} + b\vec{\omega}$$

$$\beta = \delta + \beta - \frac{a \sin \psi}{V} \quad (3)$$

$$\beta_r = \beta + \frac{a \sin \psi}{V} \quad (4)$$

(*) القول الكائن للوحات ... زوايا الزلزلة داخل

تأثير القوة الكائنة للوحات بعدة عوامل منها زاوية الزلزلة داخل

العمود الناتج من حركة الأرض والمؤثر من الجاذبية في الأرض

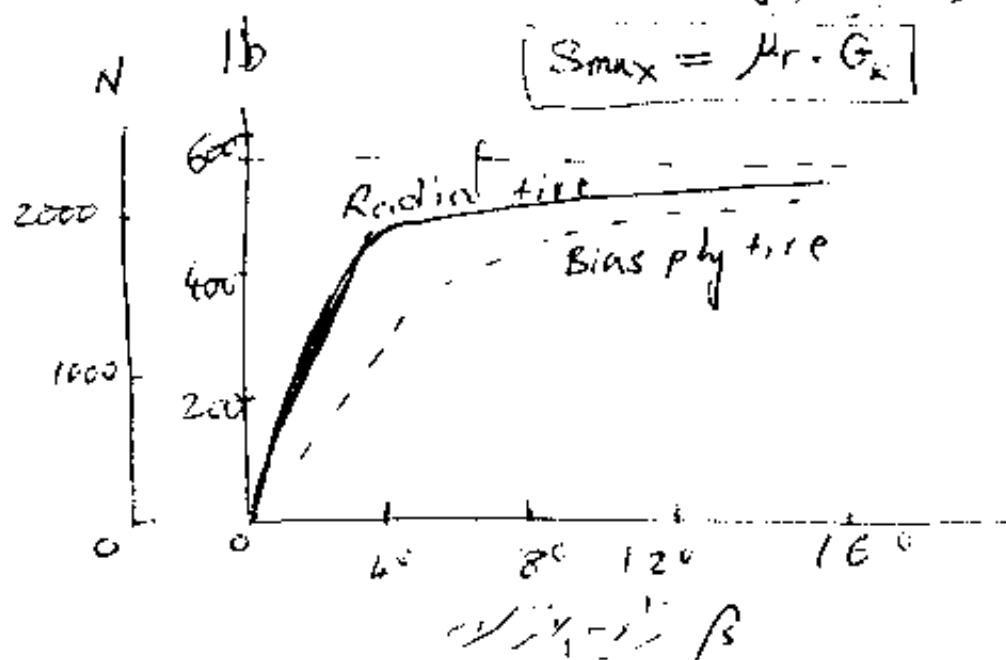
ويمثل الشكل التالي العلاقة بين القوة الكائنة (S) وزاوية

الزلازل β في حالة ثبوت الكتل (G) لتوضيح العلاقة بين القوة

(S) وزيادة الزاوية (β) وتبين العلاقة بين زاوية الزلازل (4°)

تقريباً ولقد تم تزداد القوة بشكل أقل من قبل حدودها

بالزلازل الأرضية حائناً



شكل 4: العلاقة بين القوة الكائنة للوحات (S) والكامل للوحات (G_k)
في حالة ثبوت β

حيث α - معامل الاحتكاك بين الدائرة والسطح -

إذا كانت رداء الانزلاق قليلة المقدار، تكون عندئذٍ مقاومة المعادن (دون التآكل) للمحورين المتساويين:

$$S_f = \frac{C_{af}}{K_f} \cdot \beta_f \quad [N] \quad (5)$$

$$S_r = \frac{C_{ar}}{K_r} \cdot \beta_r \quad [N] \quad (6)$$

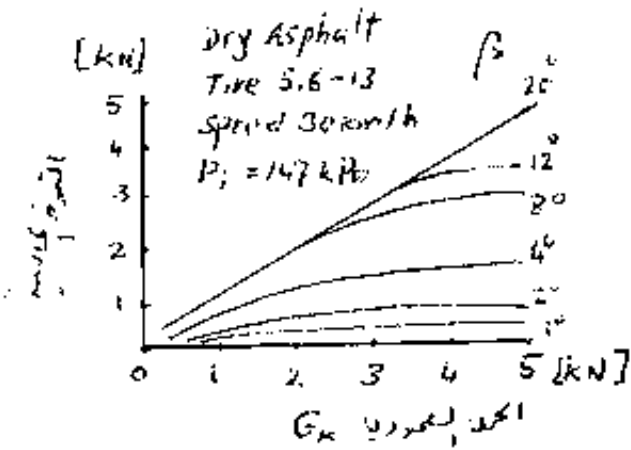
C_{af} - معامل الاحتكاك بين الدائرة والسطح
 C_{ar} - معامل الاحتكاك بين الدائرة والسطح
 K_f - معامل الاحتكاك بين الدائرة والسطح
 K_r - معامل الاحتكاك بين الدائرة والسطح

β_f [rad]
 β_r [rad]

في الشكل 5 نشاهد العلاقة بين القوة الجاذبة (S) والحمل (G_k)

في حالة ثبوت زاوية الانزلاق β ، يتبين من الشكل أن العلاقة بينهما غير خطية وخصائص التروايا القليلة المقدار، لذلك نأخذ الحمل المختلف في الاتجاهات الخارجية عنها كإشارات إضافية نتيجة للاستدراك في منطقة مدور في مجموع القوى الجاذبة.

S_f ، S_r - شدة الدوران وكتلة المحاور، كما يتبين في حالة ثبوت زاوية الانزلاق β_f ، β_r



شكل 5: العلاقة بين القوة الجاذبة والاختلاف (S) بالحمل المتروايا G_k في حالة ثبوت زاوية الانزلاق β

بإزالة استدارة السيارة حول المخطط (أنظر الشكل ٤) نفرض أنه
انجازه الطردي (المحور x) بمقدار الزاوية (y) وتقاطع لمكانه (ذلك)
وإذا أحاط نصف قطر الاستدارة (R) كبيراً نسبياً أمكن إيجاز العلاقة
بين التحريك الجانبي (y) وسرعة الزوايا الدورانية والازدواج في مركز الشقل
كما يلي:

$$\dot{y} = \frac{dy}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{d}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} \right) = \ddot{y} \times \frac{1}{v}$$

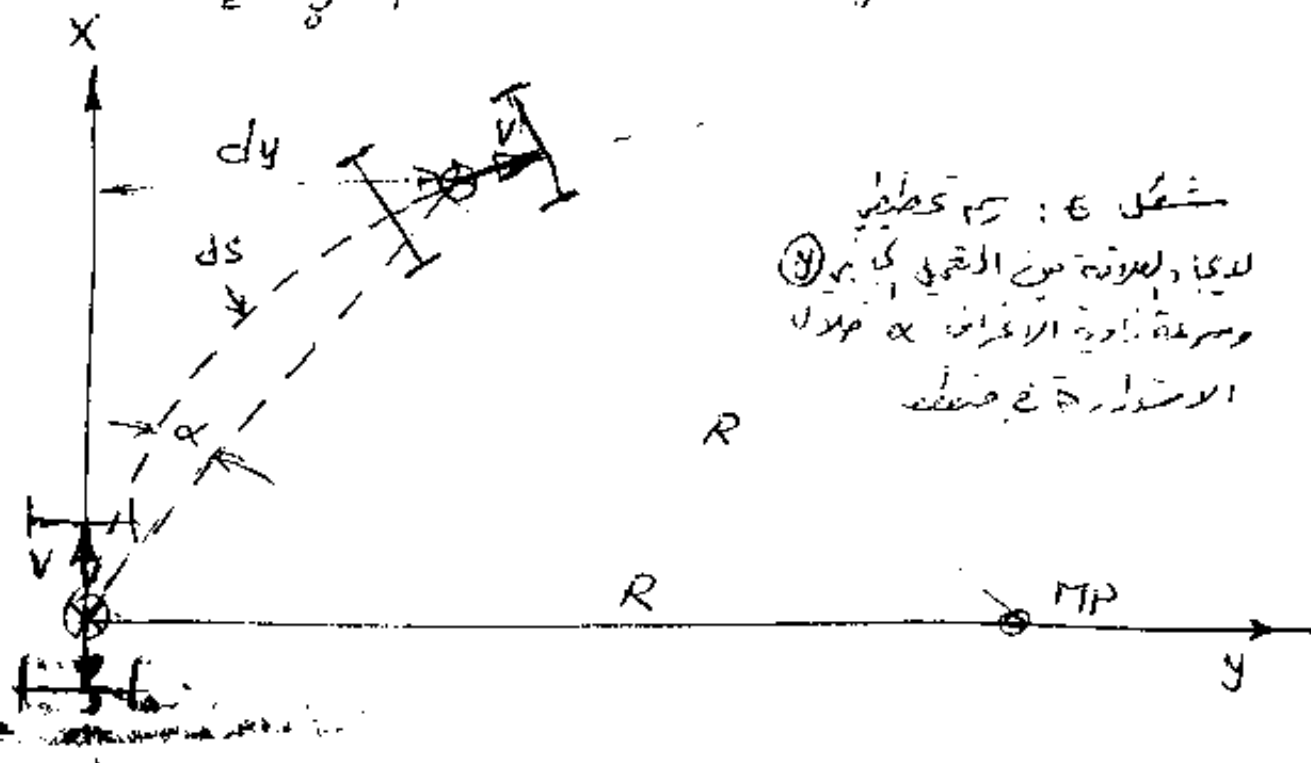
$$\ddot{y} = \frac{d\dot{y}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\ddot{y} \times \frac{1}{v} \right) = \ddot{y} \times \frac{1}{v}$$

$$\ddot{y} = \ddot{y} \times v = (\ddot{\psi} - \beta) \times v \quad [m/s^2] \quad (7)$$

* تمرير القصور الذاتي

إن تمرير القصور الذاتي (J_z) حول المحور لمكان مركز الشقل هو متوسط
لمقدار كتلة السيارة وكثافة توزيعها وهر عبارة عنه مجموع حاصل ضرب
جميع الأعداد في مربع المسافات عن محور الدوران (z) وكثافة الكتلة بالمعادلة
الآتية:

$$J_z = \int_0^m r_i^2 dm = r^2 \times m \quad [kg \cdot m^2] \quad (8)$$



الشكل ٤ : رسم تخطيطي
لدينا دالة من التحريك الجانبي (y)
وسرعة زاوية الزاوية alpha حول
الاستدارة في نقطة

خارج قطر في مركز الدائرة (مركز الدائرة)

9. وتبين تقدير قيمة نصف قطر الدائرة المرسومة ذات المحرك بؤرياً
والوضع المكاني. حيث تتحرك الدائرة في مسطرة مستقيمة ببطء في اتجاه

$$r = \frac{1}{2}(A+B) \text{ [m]}$$

أي أنه يبدو نصف المسافة الواقعة بين المحورين الأساسيين والمركزيين.
أما النسبة لسيارات السباق ذات المحرك المتوسطي تكون قيمة (r) أقل مما هو
عاديته في بقية السيارات نظراً لتمرر الدائرة في منتصف المسطرة
أذن خطاً كانت الدائرة بعيدة عن مركز الثقل المزداد بذلك نصف قطر غرض المقصود
الذي (r).

(*) السلوك الترددي

نقوم بعد ذلك من (8-3) في المعادلتين (1)، (2) نستنتج أن:

$$C_{af}(\delta + \beta - \frac{a\psi}{v}) + C_{ar}(\beta + \frac{b\psi}{v}) + W + mv(\psi - \beta) = 0 \quad (9)$$

$$C_{af}(\delta + \beta - \frac{a\psi}{v}) \cdot a - C_{ar}(\beta + \frac{b\psi}{v}) \cdot b + W \cdot e - mr^2 \cdot \ddot{\psi} = 0 \quad (10)$$

المتغيرات في المعادلتين هي (W, \psi, \beta)
التوابل هي: C_{af}, C_{ar}, a, b, e, r

Using Laplace transform on the above eqns (9, 10), & after using

$$\psi = \psi_0 e^{pt}, \quad \dot{\psi} = p \psi_0 e^{pt}, \quad \ddot{\psi} = p^2 \psi_0 e^{pt}$$

$$\beta = \beta_0 e^{pt}, \quad \dot{\beta} = p \beta_0 e^{pt}$$

$$\delta = \delta_0 e^{pt}$$

$$W = W_0 e^{pt}$$

$$\text{where } p = i\omega, \quad i = \sqrt{-1}$$

$$\psi_0, \beta_0, \delta_0, W_0$$

بعد ذلك نفضل المتغيرات عند التواتر والنفوذ عند التواتر
المعادلة (9) المتغيرة المعادلة التفاضلية التامة المتغيرة

سرعة الدوران (\dot{\psi}) التواتر المزداد (\ddot{\psi}) التواتر المزداد (\ddot{\psi})

سرعة الدوران (\dot{\psi}) التواتر المزداد (\ddot{\psi}) التواتر المزداد (\ddot{\psi})

$$\dot{\psi} \cdot r^2 \cdot m^2 \cdot V [P^2 + A_1 P + B_1] = S_1 [A_2 P + B_2] + W_1 [A_3 P + B_3] \quad (10)$$

$$A_1 = \frac{1}{m V r^2} [C_{\alpha_f} (a^2 + r^2) + C_{\alpha_r} (b^2 + r^2)] \quad (12) \quad \text{حيث } (11)$$

$$A_2 = m V a \cdot C_{\alpha_f} \quad (13)$$

$$A_3 = m V W \quad (14)$$

$$B_1 = \frac{1}{m^2 V^2 r^2} [C_{\alpha_f} C_{\alpha_r} (a+b)^2 + m V^2 (b C_{\alpha_r} - a C_{\alpha_f})] \quad (15)$$

$$B_2 = C_{\alpha_f} C_{\alpha_r} (a+b) \quad (16)$$

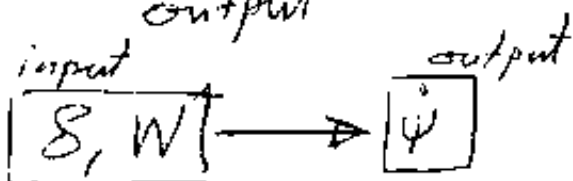
$$B_3 = C_{\alpha_f} (e-a) + C_{\alpha_r} (e+b) \quad (17)$$

إن زيادة استدارة العجلتين (الزائدين) (S) لهو تأثير داخلي على سرعة السيارة
 ناتج من قوسين دوليت القيادة (مساحة) - أحاطة قوة الرياح الجديسة (W) منه
 تأثير خارجي على سرعة السيارة وعلى عمرتها.

نحسب التأثير الداخلي والخارجي معاً دخلاً للنموذج ونستخدم كونه

المدخل للنموذج (11) المدخل للنموذج
 (S, W) - input

المدخل المدخل ($\dot{\psi}$) الذي ينتج
 الكمية المبركة من المعادلة (11) منه خارجاً للنموذج
 $\dot{\psi}$ - system output



ناتج من التأثيرين المدخل
 والمخرج معاً دخلاً للنموذج

① * الاهتزازات الحرة

إذا أثبتت على سيارة أثناء سيرها بسرعة عالية على طريق مستو ولفترة قصيرة من الزمن قوة فاصية اهتزازية (كأرباح الميكانيكية مثلا) أو اهتزازية دورانية الشدّة ، نلاحظ أنها تدور حول نفسها بشكل ترددي إلى أن يتوقف الاهتزازات تدريجيا بعد قفها لفترة زمنية معينة ، وتكون هذه الاهتزازات مستمرة في الوجود حتى بعد انقضاء الاهتزازات الداخلية أو الخارجية عليها لذلك علينا تسميتها بالاهتزازات الحرة .
 نلاحظ الطرف الأيمن للمعادلة (11) صافي الزخم محفوظ على ما يشهد بالمعادلة المتجانسة منها على المعادلة الحفظة .

$$\psi_0 \cdot r^2 \cdot m \cdot v [P^2 + A_1 P + B_1] = 0 \quad (18)$$

ونلاحظ هذه المعادلة أنها $\psi_0 = 0$

$$(P^2 + A_1 P + B_1 = 0) \quad \text{أو}$$

$$P_{1,2} = \frac{-A_1 \pm \sqrt{A_1^2 - 4B_1}}{2}$$

$$P_{1,2} = \frac{-A_1}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{-A_1}{2}\right)^2 - B_1} \quad (19)$$

ولكن كتابة المعادلة بهذا الشكل الآتي :

$$P_{1,2} = \frac{-A_1}{2} \pm i \sqrt{B_1} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{A_1}{2\sqrt{B_1}}\right)^2} \quad (19)$$

$$= -\xi \omega_n \pm i \omega_n \sqrt{1 - \xi^2}$$

$$= -\xi \omega_n \pm i \omega_d$$

حيث $\omega_n = \sqrt{B_1}$ عيّن التردد الطبيعي غير المبد $[\text{rad/sec}]$

$\xi = \frac{A_1}{2\sqrt{B_1}}$ عيّن معامل التخميد

$$\left[\left| \frac{\dot{\psi}_0}{\delta_{L_0}} \right| = \frac{1}{m^2 \cdot r^2 \cdot v \cdot i_s} \sqrt{\frac{(A_2 \omega)^2 + B_2^2}{(B_1 - \omega^2)^2 + (A_1 \omega)^2}} \right] \quad [1/sec] \quad (22)$$

حيث A_1, B_1, A_2, B_2 معروفة ، بحسب معادلات (12) ، (15) ، (13) ، (16) على التوالي والمذكورة سابقاً

المطلوب إيجاد العلاقة الترددية نسبة إزاحة $\left| \frac{\dot{\psi}_0}{\delta_{L_0}} \right|$ للسيارة مع تردد ذات محركها ω ودرج خلط الوقود ϕ (انظر الشكل)

$$a = 1.24 [m] ; b = 1.46 [m]$$

- المحاور الجانبية للزوايا الأمامية (الضابطة) $(C_{ay} = 80000 N/m)$
- المحاور الجانبية الخلفية $(C_{ax} = 80000 N/m)$
- كتلة السيارة $m = 1250 [kg]$

• نصف قطر عزم القصور الذاتي حول المحور $r = 1.35 [m]$

• نسبة الخلط في آلية القيادة $\phi = 20$

• سرعة المركبة الخطية في مركز الدفق $v = 40 m/s$

سند حل

بعد تقويم الكوابل المذكورة في المثال في المبدأ في المبدأ (22) وبموجب تغيير التردد من $[0.1 Hz \rightarrow 10 Hz]$ يمكن الحصول على مجموعة من النتائج لداسة تأثير مستويات المركبة المخلو

$$1 Hz = \frac{\omega}{2\pi} \Rightarrow \omega = 1 Hz \times 2\pi$$

$$0.1 Hz = \frac{\omega}{2\pi} \Rightarrow \omega = 0.1 \times 2\pi$$

وتوضيح مجموعة قيم التردد للحصول على مجموعة قيم نسبة إزاحة للسيارة

(*) ونلاحظ أن تأثير السرعة على مسار المركبة (السرعة الكلية) ضاراً ، فخذنا مجموعة

قيم للسرعة الكلية تتراوح من $10 m/s \rightarrow 60 m/s$ وهي كل مجموعة من النتائج

نتبين تأثير السرعة في قيم $\left| \frac{\dot{\psi}_0}{\delta_{L_0}} \right|$ وخصوصاً في دالة التردد ω (انظر الشكل)

حيث تزداد النسبة بزيادة سرعة المركبة وهذا يعني أن السيارة بسرعة كبيرة مستقرة

تأثير ايجابية الاطراف C_{ar} ، C_{ap}

تتمثل دراسة تأثير ايجابية الاطراف في الامانة والكفاءة

معدنية اربعة اقطار $\frac{\psi_0}{S_{L_0}}$ احد اقطار اربعة (22) متر اذا

اخذنا قيم اربعة ايجابية $\frac{C_{ap}}{C_{ar}}$ من (0.5 - 2.0) لسرعة

قصية ثابتة $40 m/s$ ولقيم ترددات مختلفة (متر/ثانية) (0.1 - 10 Hz)

سوف انما نسبة سرعة الدوران ترددات اربعة اقطار $\frac{C_{ap}}{C_{ar}}$ في جميع الترددات

وخاصة في مجال التردد الواحد ويكون تردد اربعة اقطار ايجابية الاطراف

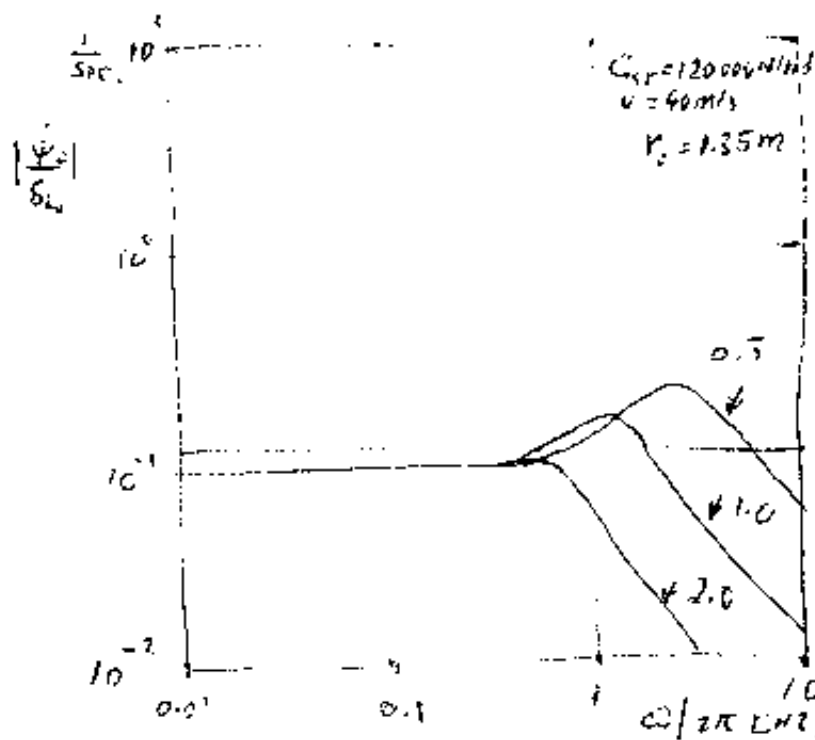
تريادة ضغط المواد المعلقة فيها .

تأثير ضغط سطح عزم الدوران (2)

تتمثل هذا تأثير تغير نسبة ضغط سطح عزم

الدوران (2/1) من (0.5 - 2.0) في نسبة اربعة اقطار اربعة اقطار

في مجال التردد اربعة



وخاصة عند تغير سرعة الدوران

للمواد اربعة اقطار اربعة اقطار

تريادة اربعة اقطار (2) متر

في مجال التردد اربعة اقطار

تريادة اربعة اقطار اربعة اقطار

للمواد اربعة اقطار اربعة اقطار

في مجال التردد اربعة اقطار

تريادة اربعة اقطار اربعة اقطار

للمواد اربعة اقطار اربعة اقطار

في مجال التردد اربعة اقطار

تريادة اربعة اقطار اربعة اقطار

* التردد الطبيعي عند التخميد :

- التردد الطبيعي غير المخمد :

التردد الطبيعي هو التردد الطبيعي للسيارة

هو تردد الحركة الدورانية التي تحدث بها السيارة في حالة التأثير على شكل محثي ولفترة قصيرة من الزمن اما هو عملية إقصادة أو تأثير قوة خارجية لا في حالة الاهتزازات الحركة المذكورة سابقاً .

The undamped natural frequency (ω_n) is:

$$\omega_n = \sqrt{B_1} = \frac{1}{mvr} \sqrt{C_{sp} C_{ar} (a+b)^2 + mv^2 (b C_{ar} - a C_{sp})} \quad [\text{rad/sec}] \quad (23)$$

وتعتمد العلاقة التردد الطبيعي غير المخمد (ω_n) بسرعة المركبة (v) على مقدار القوس تحت الجذر $(b C_{ar} - a C_{sp})$

There are three cases:

① positive case $(b C_{ar} - a C_{sp}) > 0$

تكون العلاقة بين ω_n و v علاقة عكسية حيث يقل التردد الطبيعي غير المخمد بزيادة السرعة (تغير الخصائص الدينامية ذات الحركة الاصطناعية مع تغير السرعة ذات العلاقة بين (a, b) و (C_{sp}, C_{ar}))

② Zero case $(b C_{ar} - a C_{sp}) = 0$

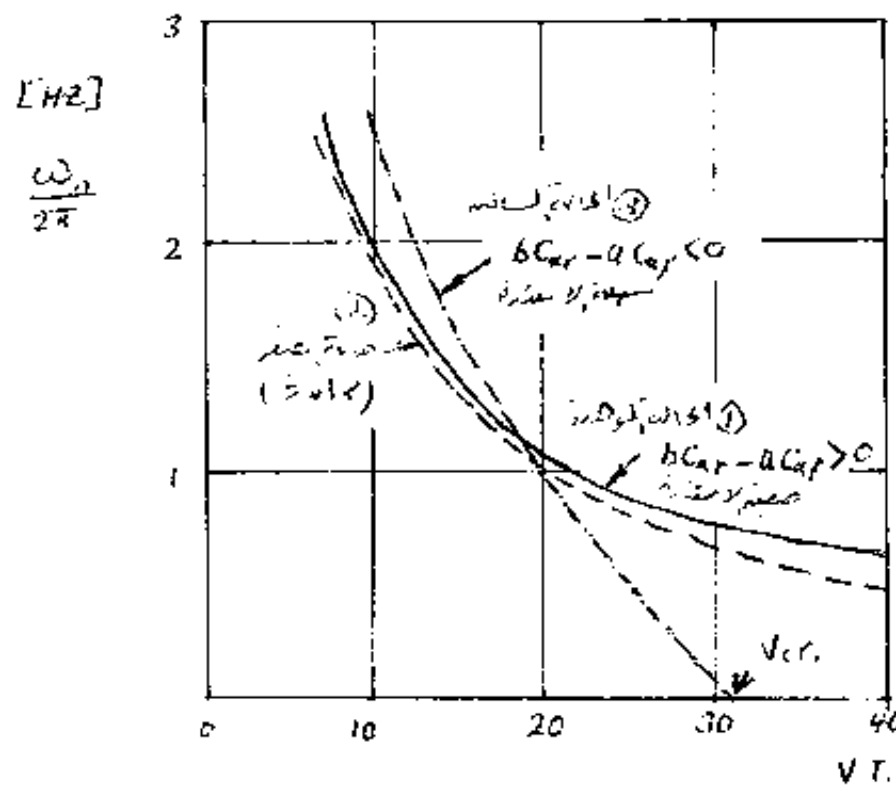
تكون العلاقة بين (ω_n) و (v) عكسية الزيادة حيث إن العلاقة لا تتغير باستثناء (ω_n) تكون أقل من v

③ Negative case $(b C_{ar} - a C_{sp}) < 0$

تكون العلاقة بين (ω_n) و (v) عكسية كذلك، ولكن ان يصل التردد الطبيعي غير المخمد إلى صفر في سرعة معينة مستمرة بالسرعة الحرجة v_{cr} وهذا يعني أن الحركة الدورانية تتحول إلى حركة للترددية لهذا في هذه الحالة حيث بعد الصفر $(\omega_n = 0)$ تكون سرعة المركبة متزايدة ثم تنقلب

وحيث $\psi = C + D$ - (في بعض الحالات 20) - وتظهر هذه الحالة على جميع السيارات ذات المحور الخلفي والرفع الخلفي حيث يكون موقع مركز ثقل قريباً من المحور الخلفي $(a > b)$

والشكل 8 يوضح العلاقة بين (ψ) و (V) على ثلاث إمالة للزوايا الثلاثة



- شكل 8
علاقة الزوايا الثلاثة بالسرعة للسيارات الثلاث
- 1 $a = 1.24m$ $b = 1.46m$
 $C_{af} = 20000 = C_{ar}$ [N/rad]
 - 2 $a = 1.35m$ $b = 1.35m$
 $C_{af} = C_{ar} = 20000$ [N/rad]
 - 3 $a = 1.24m$ $b = 1.46m$
 $C_{af} = 16000$ [N/rad] &
 $C_{ar} = 80000$ [N/rad]

معامل التخميد γ
- ان معامل التخميد هو متغير مهم للديناميكا الضمنية للسيارات المرورية

$$\gamma = \frac{A_1}{2\sqrt{B_1}} = \frac{C_{af}(a^2 + r^2) + C_{ar}(b^2 + r^2)}{2r\sqrt{C_{af}C_{ar}(a+b)^2 + mv^2(bC_{ar} - aC_{af})}} \quad (24)$$

هذه العلاقة بين معامل التخميد γ و سرعة المركبة (V) لا يمكن استخدامها لتأخذ و: لتأخذ

[3] Negative case $(bC_{cr} - aC_{cr}) < 0$

دشوار ξ increases \rightarrow when v increases

دشوار v_{cr} في 21 حاله v_{cr} في سرعة الحركة

at $v_{cr} \rightarrow \xi$ will be infinity

وتم هذا v_{cr} بزيادة التخميد ويكون الحركة الدورية

(*) التردد الطبيعي

وهو التردد الحقيقي للاهتزازات الزمنية الحرة لمعظم الجزيئات

لأنه معدل التخميد قليل يكون كحد أدنى الصفر الواحد $(0 < \xi < 1)$

وبذلك يصبح هذا المعادلة (25) بين القوسين ذبذبية ويكون التردد

الطبيعي

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} = \frac{2\pi}{T} \quad [rad/s] \quad (25)$$

حيث T هو فترة التذبذب $[sec]$ - انظر شكل (7)

مع انظر 10 القيم في هذه الدائرة بين (ω_d) و (v) في شكل

التي هي 8، 9، 10 بين حسب المعادلة (25) ، ومع التغير بين

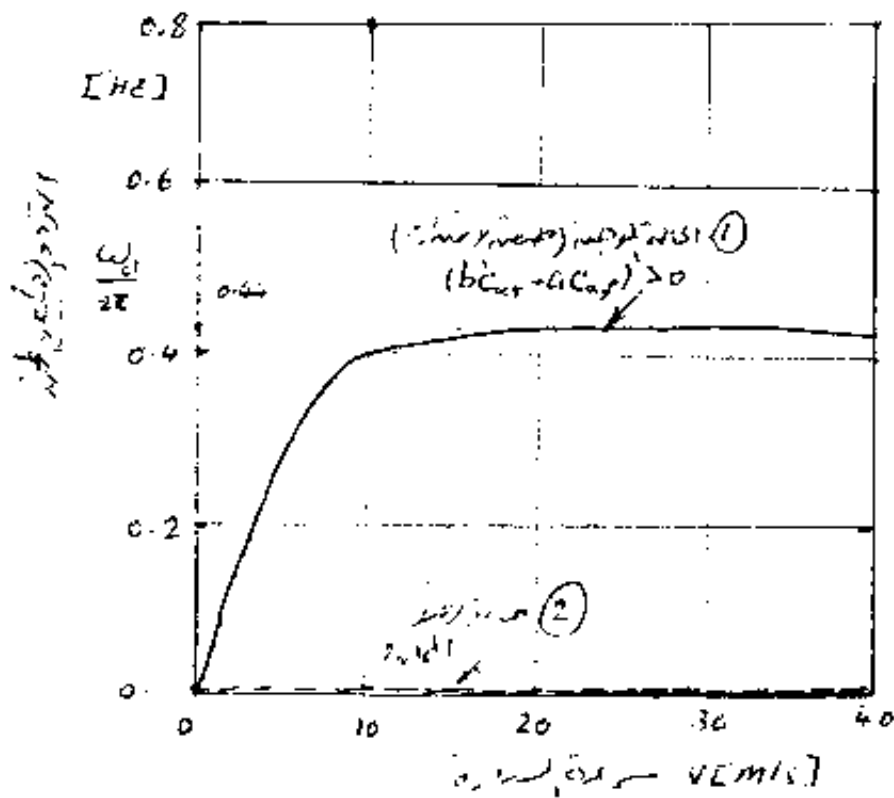
التي هي 11، 12

(4) الحالة الموهنة $bC_{cr} - aC_{cr} > 0$

يكون (ω_d) قليل المقدار في السرعة الزاوية ثم يزداد ان قدر ثابت

تقريباً $(0.44 Hz)$ بزيادة سرعة الدوران يمكن اعتبار ثابتاً لمعظم الجزيئات

الاعتمادية في مجال سرعة المتوسطة والسرعة العالية



الشكل ١٥:
 العلاقة بين تردد التذبذب المحذو
 سرعة الجسيمات المتحركة
 في حالة $(bC_{xp} - aC_{xp}) > 0$
 يكون تردد التذبذب المحذو
 الحالة الثانية (3) حالة
 ضيائية - (لا تظهر رسم)

حالة (2) Zero case $(bC_{xp} - aC_{xp}) = 0$
 تكون $(a=0)$ لأنه معامل التخميد (عزم) رياضي المقدار (1) في هذه
 الحالة - التردد يكون (2)
 وحسب ذلك $a=0$ حالة التردد الصفر وتكون سرعة الجسيمات المتحركة

في حالة $(bC_{xp} - aC_{xp}) = 0$ التردد يكون صفر
 تحسب قيمة التردد التذبذب المحذو في حالة التخميد (عزم) رياضي
 الحالة الثالثة $(bC_{xp} - aC_{xp}) < 0$ - التردد يكون (3)
 ضيائية - أي حالة التردد الصفر (الحالة الثالثة) التردد

(*) الحالة عددية التذبذب

في حالة تشيخ عملية القيادة سرارية معينة (δ_e) وعدم تغيرها نستدري
المركبة حول نقطة ثابتة (مركز الدائرة) ويشترط ان تكون سرعة المركبة
ثابتة ايضاً. فتمثل هذه الحالة بالحركة عددية التذبذب اي لا توجد هناك
اية حركة ترددية لعملية القيادة وحركة سرعة الدوران حول المنعطف عددية
التردد ايضاً وثابتة.

وبذلك الحصول على نسبة السعة للحالة اللازمنية بسهولة بعد جعل تردد
عملية القيادة في المعادلة (22) صافياً للصفر ($\omega = 0$) وبذلك تبسط
هذه المعادلة الى آتي

$$\left| \frac{\dot{\psi}_e}{\delta_{L_0}} \right| = \frac{1}{m^2 \cdot r^2 \cdot v \cdot i_s} \sqrt{\frac{(A_2 \omega)^2 + B_2^2}{(B_1 - \omega^2)^2 + (A_1 \omega)^2}} \quad (22)$$

مع تبسيط $\omega = 0$ فيها نصلح

$$\left| \frac{\dot{\psi}_e}{\delta_{L_0}} \right| = \frac{1}{m^2 \cdot r^2 \cdot v \cdot i_s} * \frac{B_2}{B_1}$$

$$\therefore \left| \frac{\dot{\psi}_e}{\delta_{L_0}} \right| = \frac{1}{m^2 \cdot r^2 \cdot v \cdot i_s} * \frac{C_{\alpha p} C_{\alpha r} (a+b) * m^2 \cdot v^2 \cdot r^2}{[C_{\alpha p} C_{\alpha r} (a+b)^2 + m v^2 (b C_{\alpha r} - a C_{\alpha p})]}$$

$$\therefore \left| \frac{\dot{\psi}_e}{\delta_{L_0}} \right| = \frac{v \cdot C_{\alpha p} \cdot C_{\alpha r} (a+b)}{i_s [C_{\alpha p} \cdot C_{\alpha r} (a+b)^2 + m v^2 (b C_{\alpha r} - a C_{\alpha p})]} \quad (26) \quad [1/sec]$$

وبذلك نحصل للمعادلة الملاس (26) في الصورة الآتية

$$① \text{ positive case } (b C_{\alpha r} - a C_{\alpha p}) > 0$$

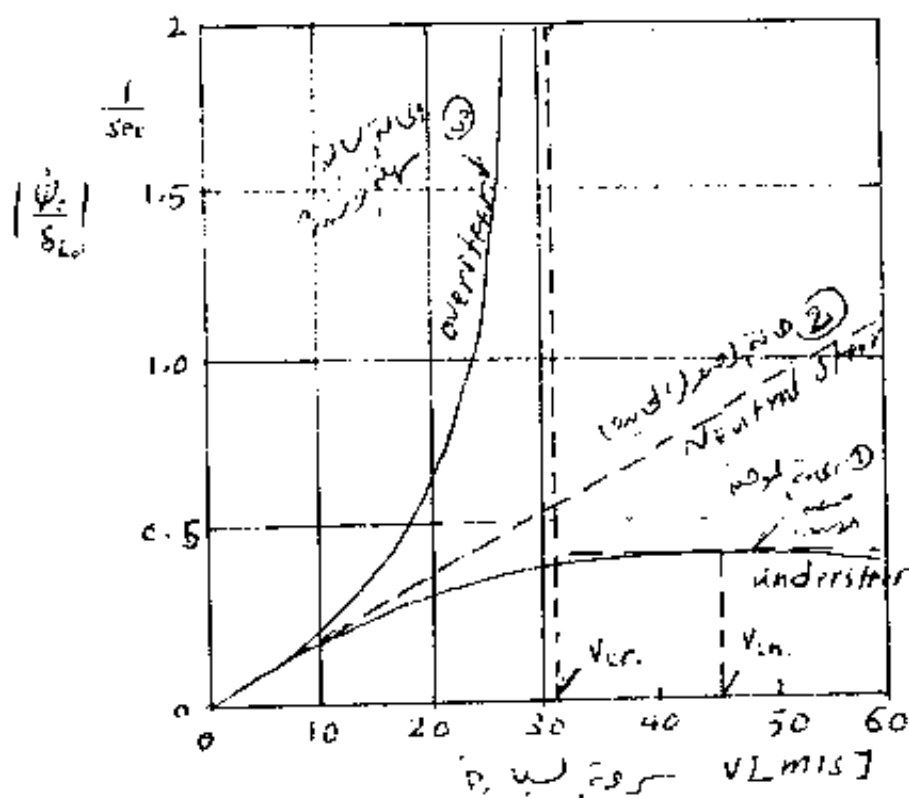
تردد نسبة السعة لسرعة الدوران تزيد السرعة الكلية ان كان يقل هدف
الأنقص في دايمنيا سرعة الميزة (v_{ch}) ثم تحصل تدريجياً ان يقل الدوران
عندما $v = \infty$

ولديجاد السرعة المثلى (V_{ch}) نفاضل المعادلة (26) ونساوي ما حصلنا

$$\frac{\partial \left| \frac{\dot{\psi}}{\delta_{Lo}} \right|}{\partial V} = 0$$

H.W. اشتقاق جديد
لعداد اشتقاقه والتبسيط نحصل على

$$V_{ch} = \sqrt{\frac{C_{\alpha f} C_{\alpha r} (a+b)^2}{m(b C_{\alpha r} - a C_{\alpha f})}} \quad (27)$$



نتصور ان كل مرة
نسبة سرعة السيارة الى
الزاوية المحركة للقيادة بسرعة
المركبة للحركة، ونسبة
المذكورة سابقاً
تسمى (8)

نلاحظ ان معطيات الحالة لاري في الشكل (8) في المعادلة (27) نحصل على

$$V_{ch} = 46.05 \text{ [m/s]} \approx 166 \text{ km/h}$$

وهذا التقريباً هو V_{ch} في المعادلة (26) نرى انه

$$\left| \frac{\dot{\psi}}{\delta_{Lo}} \right|_{\max} = 0.427 \text{ [1/sec]}$$

وتسمى هذه الحالة كذا في حالة السيارات التي هي لا مستقيمة
(understeer) ونلاحظ ان جميع السيارات ذات الجير الأمامي
والتي هي اكثر ذات الجير الأمامي والسيارات ذات الجير الخلفي
($a < b$)

(2) Zero case $bC_{ax} - aC_{ay} = 0$

نحاول المعادلة (26) المعادلة بسيطة الآتية :

$$\left| \frac{\dot{\psi}}{\delta_{to}} \right| = \frac{v}{s(a+b)} \quad (28)$$

وهذا يعني من المعادلة (28) ان العلاقة خطية بين v و $\left| \frac{\dot{\psi}}{\delta_{to}} \right|$ و v انظر شكل 11. وسمي هذه الحالة بالحالة المحايدة Neutral Steer لانها تمثل الحالة التي يكون فيها السيارة - المركبة المستديرة والسيارة حالة الاستدارة

(3) Negative case $bC_{ax} - aC_{ay} < 0$

نزداد سرعة السيارة بشكل كبير تتزايد السرعة وتصل الى حد معين هذه الحالة (ص) ويجب من هذه الحالة v_{cr}

بحسب v_{cr} عندنا يكون من المعادلة (26) ب دأ للمعادلة

$$s[C_{ay} C_{ax} (a+b)^2 + mv^2(bC_{ax} - aC_{ay})] = 0$$

H.W حيث نستخرج v_{cr}

$$v_{cr} = \sqrt{\frac{C_{ay} C_{ax} (a+b)^2}{m(aC_{ay} - bC_{ax})}} \quad (29)$$

نفسه نعوون على ذلك قيم الحالة (3) في الشكل (8) في المعادلة المدمر

$$v_{cr} = 30.25 \text{ [m/sec]} = 109 \text{ (km/h)}$$

وهذه السرعة المركبة التي تكون فيها سرعة الاستدارة ص دأ لا ∞

$$\left(\left| \frac{\dot{\psi}}{\delta_{to}} \right| = \infty \right)$$

وسمي هذه الحالة كذلك بحالة السيارة سهلة الاستدارة (overs/steer) وتظهر على جميع السيارات ذات المحرك الخلفي وادخل الخلفي التي عادة يكون مركز ثقلها قريباً من المحور الخلفي $a > b$

ملاحظة من لفظة التوازن ثلاثة تغيرات، الأولى من كلمة ① إلى ② أو الكلمة ③. وثالثة ذلك تغيير موقع الثقل (بالتميل صلاً) أو تغيير خواص الأجزاء (لتغير الأجزاء أو تغير الضغط تحتها).

④ * عند الاستقرار،

إذا أثرت قوة خارجية في جسم ما لفترة قصيرة من الزمن، فسيبقى الجسم في حالته إذا لم يتغير هذا التأثير بمرور الزمن بعد زوال المؤثر. كما أن الجسم مستقر إذا ازداد الانحراف بمرور الزمن. كما أن الجسم غير مستقر إذا انقلب استجابة الجسم للتأثير ويبقى على حاله محايداً.

تجميع القوة التي تؤثر في الجسم بعد زوال المؤثر وتكون مثل تردد الجاذبية أو التوازن.



حالة مستقرة

يبقى الجسم في حالته بعد زوال المؤثر



محايدة

تتجهج القوة التي تؤثر في الجسم بعد زوال المؤثر



حالة غير مستقرة

شكل 12: مثال على التوازن المستقر

الجسم في حالة

* تحديد الاستقرار بواسطة معامل التخميد

نظرتنا سابقاً إلى العلاقة الزمنية لسرعة الدوران ($\dot{\psi}$) بتغير معامل التخميد (ξ) في المعادلة (20) وفي الشكل 7 شاهدنا هذه العلاقة .
على هذا فندرس الاستقرار وذلك وذلك بالتبديل بين الحالات الثلاث

(A) $0 < \xi < 1$: تكون السيارة مستقرة وتضخم الاهتزازاتها بشكل ترددي عمود الزمن . ويتحقق هذا الشرط إذا كان القوس في المعادلة (24) موجباً $[(bC_{ar} - aC_{ap}) > 0]$ في هذا المقام يندرج understeer

(B) $\xi = 1$: تكون السيارة محايدة . أي في حدود الاستقرار وعدمها .
وتقتصر سرعة الاستجابة ثابته تقريباً أو تضخم سلباً عمود الزمن
ويتحقق هذا الشرط إذا كان السرعة الواقعة جداً (قريبة من الصفر) أو
إذا كان القوس في مقام المعادلة (24) مساوياً للصفر $(bC_{ar} - aC_{ap}) = 0$

(C) $\xi > 1$: تكون السيارة غير مستقرة وتزداد سرعة دورانها عمود الزمن بشكل لا ترددياً . ويتحقق هذا الشرط إذا كان القوس في مقام المعادلة (24) سالباً $(bC_{ar} - aC_{ap} < 0)$

(*) تحديد الاستقرارية بطريقة (هورفيتز) (Hurwitz)

نفس الاستقرارية بطريقة هورفيتز باستخدام المعادلة المميزة
(المفصلة) - المعادلة (18) البقية

$$\psi_m m^2 r^2 v^2 [P^2 + A_1 P + B_1] = 0 \quad (18)$$

تكون السيارة (المخطوطة) مستقرة إذا توفرت الشروط الآتية

1- أن تكون ~~المعادلة~~ التوافقية موجودة وطان قلبية ($A_1 \neq 0, B_1 \neq 0$)

2- يجب أن تكون قيم التوافقية A_1 و B_1 إما سالبة أو موجبة أي أن واحد
($B_1 > 0, A_1 > 0$ أو $B_1 < 0, A_1 < 0$)

3- يجب أن تكون قيمة المحددة الآتية (Determinant) موجبة:

$$D = \begin{vmatrix} 1 & B_1 \\ 0 & A_1 \end{vmatrix} > 0$$

أن القيمة العددية للثابت (A_1) هي موجبة في كل الأحوال إذ
استنتجنا من المعادلة (12) أن

$$A_1 = \frac{1}{m v r^2} [C_{\alpha_f} (a^2 + r^4) + C_{\alpha_r} (b^2 + r^2)] \quad (12)$$

ولتحليل (A_1) أن يتغير حسب في السرعة العالية جداً القريبة من ∞
($v = \infty$)

أما (B_1) فمن المحتمل أن تكون > 0 (مع المعادلة (15))

$$B_1 = \frac{1}{m^2 v^2 r^2} [C_{\alpha_f} C_{\alpha_r} (a+b)^2 + m v^2 (b C_{\alpha_r} - a C_{\alpha_f})]$$

وتنعدم القيمة $\rightarrow \infty$

وبما أن القيمة العددية للحد (A) موجبة دائماً فيجب أن تكون (B) موجبة أيضاً كما ذكرنا لضمان الاستقرارية العرضية للمركب. وبذلك يتحقق شرط الاستقرار الذي ذكرناه من طريقة هورويتز. أما شرط الثالث الذي يخص الحد (D) فهو متحقق أيضاً لأن

$$D = 1 \times A_1 - B_1 \times 0 = A_1 > 0$$

فإن القيمة العددية للحد (B) هي التي تحدد الاستقرارية أو عدمها فإذا كان

$$(4) \quad \underline{B_1 > 0} \quad \text{حالة لبداية مستقرة}$$

(ب) - إذا $B_1 = 0$ حالة لبداية محايدة وهو الحد الفاصل

بين حالة الاستقرارية أو عدمها وكيفية ذلك استنتاج ما يلي

من سرعة المركب V_{cr} - بقولنا من المعادلة (15) أن $B_1 = 0$ نجد V_{cr} كما يلي:

$$\left[V_{cr} = \sqrt{\frac{C_{xp} C_{xr} (a+b)^2}{m(a C_{xp} - b C_{xr})}} \right]$$

وهي معلومة تماماً للمعادلة (29) التي تخص الحركة عدمية لنزلة

أذن فإن حدود الاستقرارية للمركب (النزلة) والعدمية القاذبة

متساويان.

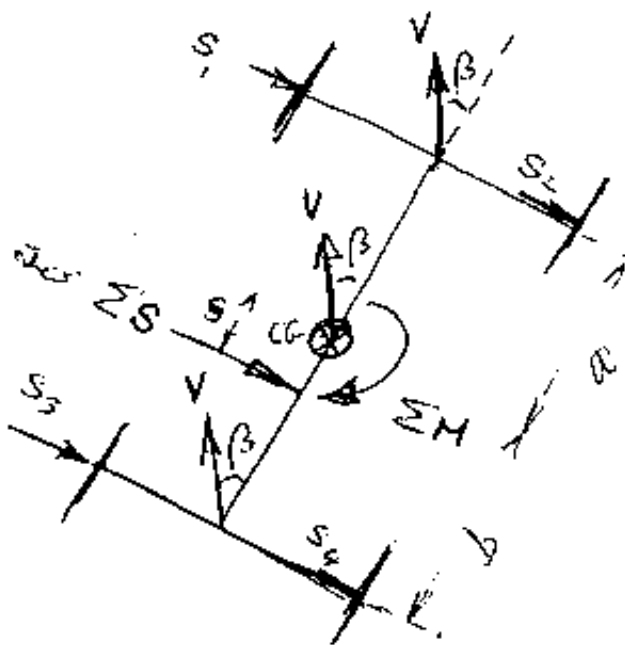
$$(5) \quad B_1 < 0 \quad \text{حالة لبداية غير مستقرة}$$

(*) الاستقرارية في الحالات الاضطرابية

الحالات الاضطرابية هي الحالات التي يطر فيها سائد السيارة بتغير اتجاه سيره بلحظها او بتحويلها لتيهه لتأثيرها رجوي أو مؤثر شكل خارجي.

[A] الاستقرارية لحدرة عمادة

في حالة السير المستقيم من طريق مستوي تفترض المركبة ان تتحرك في جهة مفاصية ولفترة قصيرة صغيرة هذه الزمن بحيث تسبب هذه الحوادث انحرافاً طفيفاً عن اتجاه السرعة الاصلية بزاوية β (زاوية الانحراف) في مركز التمدد.



انما يشكو 13 :
 وإذا افترضنا ان جميع السيارة
 تتحرك في اتجاه واحد وهذا انما هو
 دورانها في اتجاه واحد لكونها تتحرك
 في اتجاه واحد لكونها تتحرك في
 اتجاه واحد لكونها تتحرك في
 اتجاه واحد لكونها تتحرك في

الصمد التمثيل الثاني والتفصيل الثاني
 والسرعة الزاوية ان يكون

شكو 13 : انحراف المركبة بعد تأثر
 قوة خارجية مفاصية فيها

$$\begin{aligned} \ddot{y} &= 0 \\ \ddot{\theta} &= 0 \\ \ddot{\phi} &= 0 \end{aligned}$$

كحالات المركبة في هذه الحالة مستقرة اذا حسبت محصلة مجموع العزوم حول المركز (CG) تقريبا لزاوية الانحراف β .

واذا افترضنا ان اتجاه محصلة مجموع العزوم (EM) هو اتجاه دورانها عن طريق الساحة انظر اليه في الحالات الثلاثة التالية.

$$0 < \Sigma M \quad \text{حالة سيارة غير مستقرة}$$

$$0 = \Sigma M \quad \text{حالة سيارة محايدة}$$

$$0 > \Sigma M \quad \text{حالة سيارة مستقرة}$$

ونوجد طريقتين أخريتين للمعرفة الاستقرائية وتحررها وهما حساب محصلات
 مجموع القوى الكاسية المؤثرة على الإطارات وفي جميع السيارة فإذا
 كانت المحصلة ΣS محصورة بين مركز الثقل والمحور الخلفي كانت
 السيارة مستقرة (يعني يجب ان يقع عزم المحور الخلفي على عزم المحور الأمامي
 لضمان الاستقرار) (يعني يقل β) ويمكن تعاقبه بالمعادلة الآتية .

$$\Sigma S \times S = [(S_3 + S_4) \times b - (S_1 + S_2) \times a] > 0$$

$$\Sigma S = (S_1 + S_2) + (S_3 + S_4)$$

والتوضيح

$$(S_1 + S_2) = C_{af} \cdot \beta$$

$$(S_3 + S_4) = C_{ar} \cdot \beta$$

في المعادلة السابقة β هو الانحراف المستقيم الميل (S) التي تمثل بعد
 محصلة القوى الكاسية ΣS عن مركز الثقل حسب المعادلة الآتية

$$S = \frac{C_{ar} \cdot b - C_{af} \cdot a}{(C_{af} + C_{ar})} \quad [m] \quad (30)$$

understeer	حالة سيارة مستقرة	$0 < S$
Neutral	محايدة	$0 = S$
oversteer	عكس مستقرة	$0 > S$

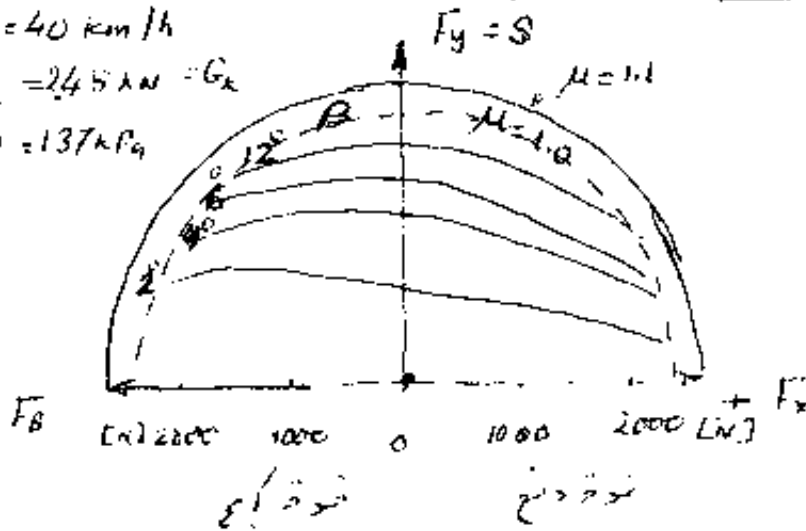
B الاستقرارية في حالة الدفع

TYPE 145-15 (BIAS PLY) المرو الي بي

$$V = 40 \text{ km/h}$$

$$F_z = 245 \text{ kN} = G_k$$

$$p_h = 137 \text{ kPa}$$



شكل 14: مخرقة القوة إلى نسبة القوة (S)

لقوة الدفع F_x وقوة الإبع F_z في حالة

ليكون مخرقة الأثر μ راكحل للمعدن (G_k)

في حالة دفع مخرقة السيارت
الحدود الزلزال الطائفة
نوعا نظريه تفصيل القوى الكاسية
في اسطح القاس الى حد

$$(S_1 = S_2 = S_3 = S_4 = 0)$$

كنا نشاهد ذلك في القياسات

المأخوذة على الاضمار في

الشكل 14. وللموجود

هناك نوع آخر من المخرقة

مما سبب مؤثرة بعض اثار سرعة

وتفصيل القوة العددية هذه يكون على حاصل ضرب حاصل الاضمار μ في الحمل

المعدن الى خارج (G_k) - يقدر (μG_k) ويمكن التمييز بين الحالات الترتيبية:

ترتيب التمييز بين الحالات الترتيبية:

1. الدفع بالدراليب الاعادية

في حالة عطل نوع الدواليب الكلية

تتم عملية الدفع فقط بواسطة الدواليب الاعادية ، ففي حالة انحرافها

ليوتر في حلق دولاب قوة ضاغطة مما سبب مقدار (μG_k) و (μG_{k2})

مؤثرة هذا انجاز سرعة (V).

شكل 15: الدفع

بالدواليب الاعادية

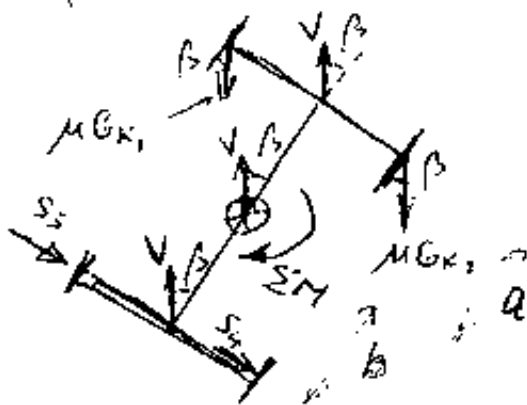
الشكل 15

وتفصيل القوى الى نسبة ($S_1 = S_2 = 0$)

اما في المحور الكلف نلاحظ ههنا

نوعا ضاغطة وللموجود نوعا

جاسقانه هما S_3 و S_4 .



لأخذ الزخم حول مركز الثقل - باتجاه صورة عتري ب

$$\sum M = \mu (G_{K1} + G_{K2}) \sin \beta \times a - (S_3 + S_4) \times b = 0 \quad (31)$$

و بالتعويض عن $G_{K1} + G_{K2}$ من المعادلة (31) نحصل على:

$$G_{K1} + G_{K2} = G \cdot \frac{b}{a+b}$$

فرضين بالتعويض عن القوتين الجاذبتين

$$(S_3 + S_4) = C_{ar} \cdot \beta$$

نضرب المعادلة (31) في $(a+b)$ لنحصل على:

$$(G_{K1} + G_{K2})(a+b) = G \cdot b$$

وإذا كانت زاوية الانزلاق قليلة جدًا بحيث

$$\sin \beta = \beta$$

فإننا نضع مركز الثقل في منتصف مسافة $a = b$

تطبيق معادلة الزخم (31) أي التي

$$\sum M = \mu \cdot mg \cdot \left(\frac{b}{a+b} \right) \cdot \beta \cdot a - C_{ar} \cdot \beta \cdot b = 0$$

$$= \mu \cdot mg \left(\frac{a}{2a} \right) \cdot \beta \cdot a - C_{ar} \cdot \beta \cdot a$$

$$\sum M = a \beta \left(\frac{1}{2} \mu mg - C_{ar} \right) \quad (32)$$

حللوا فرضنا القيم العددية الآتية لتعويضها بالمعادلة (32)

- الحمل الجاذب للأطراف الواحد = 40000 N/m

- معامل الاحتكاك بين الأسطح = $\mu = 0.7$

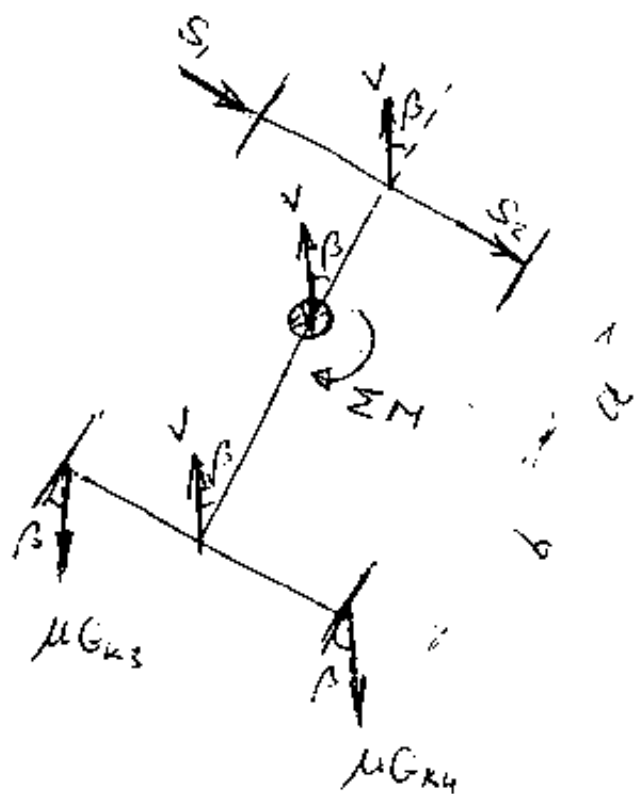
- كتلة السيارة المتوسطة الحجم $m = 1200 \text{ kg}$

ستكون قيمة $\sum M$ سالبة

$$\sum M = a \times \beta \left(\frac{1}{2} \times 0.7 \times 1200 \times 9.81 - 2 \times 40000 \right) < 0$$

اذن يكون المركبة مستقرة في هذا المكان لأنه في حالة انزلاقها فإنها لن تنقلب بل ستبقى مستقرة في مكانها.

2- أليج بالرد اليك الكيفية



في حالة عطل شرايط الدايك
الانسانية تدار تتم عملية أليج
تخطي بوساطة الدايك الكيفية
في حالة انزلاقها تؤثر في كل
من الدايك قوة احتكاكية مماثلة
فقدتها μG_{k3} ، μG_{k4}

تؤثر هذه الاتجاه السرعة (V).

انظر الشكل 16 .

وتتضمن الترتيبات الجارية الى ان

($S_3 = S_4 = 0$) اما في المحور الاساسي نلاحظ ان هناك قوتان احتكاكية وتلك

توجد قوتان حاشية S_1 و S_2 .

• نأخذ عزم حول مركز الشغل باتجاه حركة عقارب الساعة .

$$\Sigma M = (S_1 + S_2) \times a - \mu (G_{k3} + G_{k4}) \times \sin \beta \times b = 0$$

(33)

وبالتعويض عن المتغيرات كما في الحالة الأولى قبلها تنطبق معادلة العزم الى

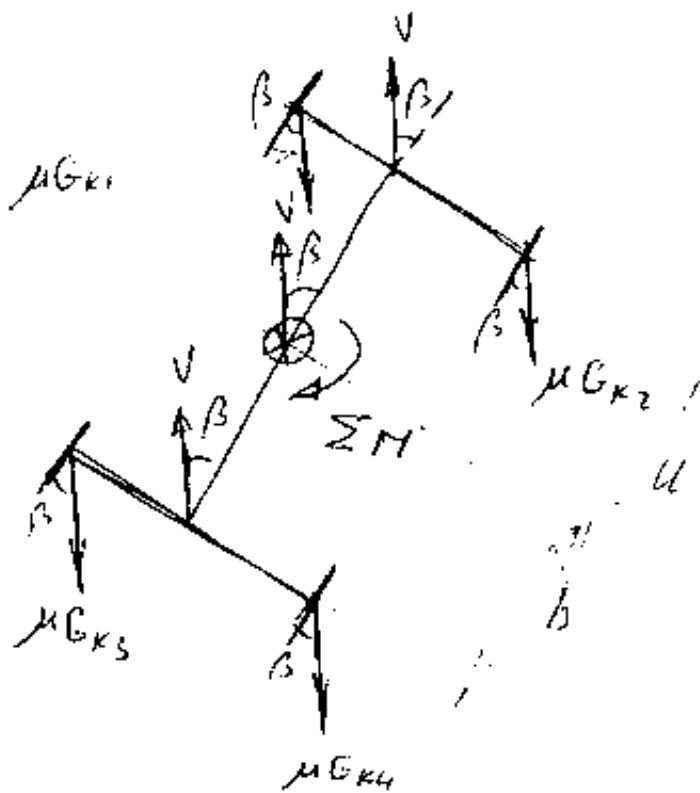
المعادلة الآتية :

$$\Sigma M = a \times \beta \left(C_{\alpha} - \frac{1}{2} \mu m g \right)$$

(34)

وإذا عوضنا بمتغير الارشاد في حالة ب بعد ذلك $\Sigma M > 0$ موضح
تكون المركبة غير مستقرة في هذه الحالة لأن β تدار
حيث يؤثر ΣM في نفس الاتجاه المعزوف.

3- أبلج جميع الدواب



السؤال 17 : أبلج جميع الدواب

في هذه الحالة توجد القوى
الاحتكاكية المطبقة

μG_{k1} ، μG_{k2} ، μG_{k3} ، μG_{k4}
حيث أن μ هي نسبة الاحتكاك (V)

وتفترض جميع القوى الجانبية إلى الصفر

$$(S_1 = S_2 = S_3 = S_4 = 0)$$

أبداً (سؤال 17)

نأخذ الموضع حول المركز

$$\sum M = \mu (G_{k1} + G_{k2}) \sin \beta \cdot a - \mu (G_{k3} + G_{k4}) \sin \beta \cdot b = 0$$

35

وبالتعويض نحصل

$$(G_{k1} + G_{k2}) = mg \left(\frac{b}{a+b} \right)$$

$$(G_{k3} + G_{k4}) = mg \left(\frac{a}{a+b} \right)$$

في المعادلة (1) يتم استنتاج أن كل من خروج الموضع لباد لا يمر
إذا لم تكن الحركة محاذية

$$\sum M = 0$$

Spinning Geometry

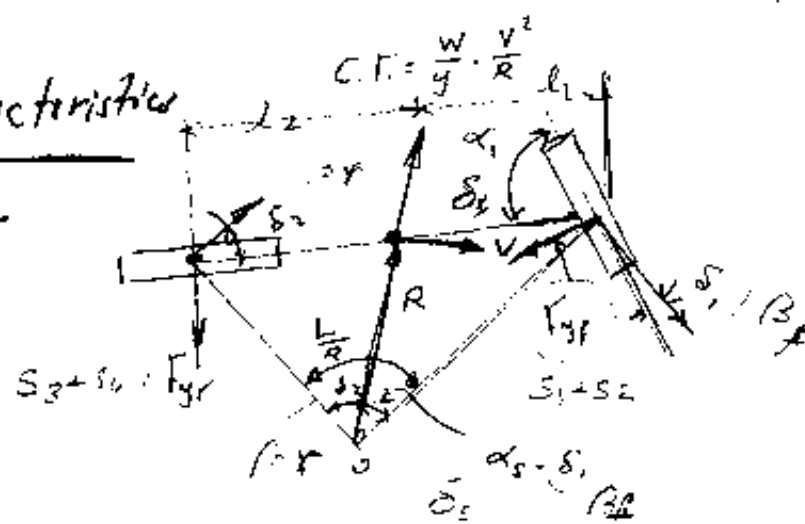
$$l_1 + l_2 = l$$

steady state

handling characteristics

نفسه بيده

↓



The relationships between steer angle of front α_s , turning radius R , wheel-base L & slip angles of the front and rear tires δ_1 & δ_2 is given by

$$\alpha_s - \delta_1 + \delta_2 = \frac{L}{R}$$

$$\delta_2 - \beta_1 + \beta_2 = \frac{1}{R}$$

$$\text{or } \left[\alpha_s = \frac{L}{R} + \delta_1 - \delta_2 \right]$$

$$\delta_2 = \frac{1}{R} + \beta_1 - \beta_2 \quad \text{--- (1)}$$

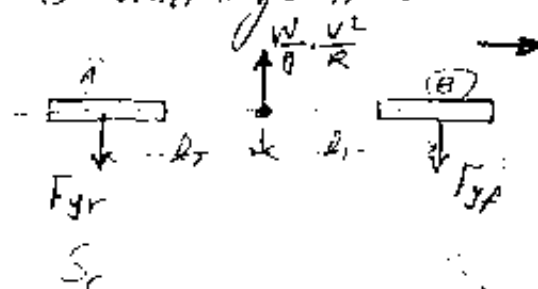
The slip angles δ_1 & δ_2 depend on

- ① side forces acting on tires
- ② cornering stiffness.

For small steer angle is valid:

A $\delta_1 \approx \frac{S_f}{C_f} = \frac{W_f \cdot \frac{V^2}{R} \cdot \frac{l_2}{L}}{C_f}$ B $\delta_2 \approx \frac{S_r}{C_r} = \frac{W_r \cdot \frac{V^2}{R} \cdot \frac{l_1}{L}}{C_r}$

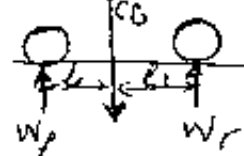
B $\delta_2 \approx \frac{S_r}{C_r} = \frac{W_r \cdot \frac{V^2}{R} \cdot \frac{l_1}{L}}{C_r}$ ③ $\delta_2 = \frac{1}{R} + \beta_1 - \beta_2$



& The normal load on each of front & rear wheel respectively W_f & W_r under static conditions are:

$$W_f = \frac{W l_2}{2L} \rightarrow W = 2 \frac{W_f \cdot L}{l_2}$$

$$W_r = \frac{W l_1}{2L} \rightarrow W = 2 \frac{W_r \cdot L}{l_1}$$



So $F_{yf} = 2W_f \frac{V^2}{gR}$ --- (4)

So $F_{yr} = 2W_r \frac{V^2}{gR}$ --- (5)

the slip angle are given by

for $\delta_1 = \frac{F_{yf}}{C_f} = \frac{W_f \cdot \frac{V^2}{R}}{C_f}$ --- (6)

for $\delta_2 = \frac{F_{yr}}{C_r} = \frac{W_r \cdot \frac{V^2}{R}}{C_r}$ --- (7)

$$\beta_1 > \beta_2$$

$$\delta_1 > \delta_2$$

③, yaw motion is initiated & the vehicle turns away from the side force

V_{ch} : speed at which the steer angle required to negotiate turn is $\frac{2L}{R}$.

$$V_{ch} = \sqrt{\frac{gL}{K_{us}}} \quad \text{--- (10)}$$

$$\beta_1 < \beta_2$$

③ oversteer $K_{us} < 0 \Rightarrow [\delta_1 < \delta_2] \& [\frac{W_f}{C_{uf}} < \frac{W_r}{C_{ur}}]$

indicates a more unstable vehicle

$$\alpha_s \text{ i. line } \gamma$$

critical speed V_{cr} can be identified

$$V_{cr} = \sqrt{\frac{gL}{-K_{us}}} \quad \text{--- (11)}$$

④ Parameters effect

Testing of handling characteristics.

مكتبة المتحف الوطني

- ① constant radius test
 ② constant speed (v)
 ③ constant steer angle (δ)

[2] Constant speed test ($v = \text{constant}$)

في هذا الاختبار نثبت سرعة المركبة (سرعة ثابتة) ونغير نصف قطر الدوران R (variable).
نقيس زاوية الدوران (δ) والتحويل الكلي $(\frac{y}{g})$. ونرسم النتائج كما يلي:

$$\left[\delta = \frac{L}{R} + K_{us} \cdot \frac{V^2}{gR} \right] \quad \text{منه} \quad \frac{\delta}{\frac{V^2}{gR}} = \frac{L}{RV^2} + K_{us} \Rightarrow \frac{\delta}{\frac{V^2}{gR}} = \frac{gL}{V^2} + K_{us} \quad \text{منه} \quad \left[\frac{d\delta}{d\left(\frac{y}{g}\right)} = \frac{gL}{V^2} + K_{us} \right] \quad (2)$$

① - إذا كانت السلوكية مستقيمة ($K_{us} = 0$) - سيقع الخط في نقطة الأصل.

② - Under Steer ($K_{us} > 0$) - ميل الخط موجب ويرتفع عن السلوكية المستقيمة.

③ - Oversteer ($K_{us} < 0$) - ميل الخط سالب ويقترب من السلوكية المستقيمة.

④ - وعند نقطة الخط = صفر يسمى $\frac{gL}{V^2} + K_{us} = 0$

$$V_{crit} = \frac{gL}{(-K_{us})} \Rightarrow V_{crit} = \sqrt{\frac{gL}{K_{us}}} \quad \text{منه} \quad \text{Oversteer}$$

مركبة غير مستقرة (unstable) مركبة غير مستقرة (unstable)

[3] Constant steer angle test $\delta = \text{const.}$

في هذا الاختبار نثبت زاوية الدوران $(\delta = \text{const.})$ ونغير سرعة المركبة V .
نقيس التحويل الكلي $(\frac{y}{g})$ ونرسم النتائج كما يلي: $\left[\frac{1}{R} = \frac{y}{V^2} \right]$ ونرسم النتائج بين $\frac{1}{R}$ والتحويل الكلي $(\frac{y}{g})$.

$$\delta = \frac{L}{R} + K_{us} \frac{V^2}{gR} \quad \text{منه} \quad \frac{\delta}{L} = \frac{1}{R} + K_{us} \left(\frac{y}{g} \right) \cdot \frac{1}{L} \Rightarrow \frac{d\delta}{dL} = d\left(\frac{1}{R}\right) + \frac{K_{us}}{L} d\left(\frac{y}{g}\right)$$

$$0 = d\left(\frac{1}{R}\right) + \frac{K_{us}}{L} d\left(\frac{y}{g}\right) \quad \text{منه} \quad \left[\frac{d\left(\frac{1}{R}\right)}{d\left(\frac{y}{g}\right)} = -\frac{K_{us}}{L} \right] \quad (3)$$

① - إذا كانت السلوكية مستقيمة ($K_{us} = 0$) - سيقع الخط في نقطة الأصل.

② - Understeer ($K_{us} > 0$) - ميل الخط موجب ويرتفع عن السلوكية المستقيمة.

③ - Oversteer ($K_{us} < 0$) - ميل الخط سالب ويقترب من السلوكية المستقيمة.

[2] Constant speed test ($v = \text{constant}$)

في هذا الاختبار، تتغير المركبة (سرعة ثابتة) - ولكن يزداد في اقطار دورانه
محددة (R (variable))
تقاس زاوية الدوران (δ) والتحويل الكلي (y) وترسم النتائج كما يلي:

$$\left[\delta = \frac{L}{R} + K_{us} \cdot \frac{v^2}{gR} \right] \quad \text{مشتق من}$$

$$\frac{\delta}{\frac{v^2}{gR}} = \frac{L}{Rv^2} + K_{us} \Rightarrow \frac{\delta}{\frac{v^2}{gR}} = \frac{gL}{v^2} + K_{us}$$

$$\left[\frac{d\delta}{d\left(\frac{v^2}{g}\right)} = \frac{gL}{v^2} + K_{us} \right] \quad (2)$$

1 - إذا كانت السلوكية هي $K_{us} = 0$ - سيكون الخط قهراً يمر بنقطة $\frac{gL}{v^2}$

2 - $K_{us} > 0$ Under steer : في المحاور الأمامية وال خلفية السلوكية المزدوجة

3 - $K_{us} < 0$ Over steer : سيحدث ميل المحاور الأمامية والخلفية السلوكية كما يلي:

4 - $\frac{gL}{v^2} + K_{us} = 0$ نقطة التوازن عند v_{crit}

$$V_{crit} = \frac{gL}{(-K_{us})} \Rightarrow V_{crit} = \sqrt{\frac{gL}{-K_{us}}}$$

نقطة v_{crit} هي نقطة التوازن (unstable) -

[3] Constant steer angle test $\delta = \text{const.}$

في هذا الاختبار، تتغير المركبة زاوية الدوران ثابتة ($\delta = \text{const.}$) سرعة هي محددة للمركبة
تقاس الزاوية الكافية طرقت سرعة المحاور وخصائص curvature $\frac{1}{R}$ من التحويل الكلي y
علاقة $\left[\frac{1}{R} = \frac{y}{v^2} \right]$ وترسم علاقة بين $\frac{1}{R}$ والتحويل الكلي y

$$\delta = \frac{L}{R} + K_{us} \frac{v^2}{gR} \quad \text{مشتق من}$$

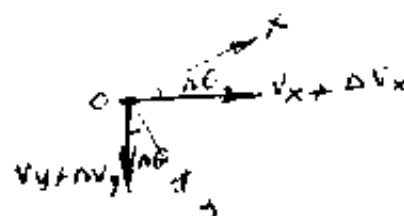
$$\frac{\delta}{L} = \frac{1}{R} + K_{us} \left(\frac{y}{v^2} \right) \Rightarrow \frac{d\delta}{dL} = d\left(\frac{1}{R}\right) + \frac{K_{us}}{L} d\left(\frac{y}{v^2}\right)$$

$$0 = d\left(\frac{1}{R}\right) + \frac{K_{us}}{L} d\left(\frac{y}{v^2}\right)$$

$$\left[\frac{d\left(\frac{1}{R}\right)}{d\left(\frac{y}{v^2}\right)} = -\frac{K_{us}}{L} \right] \quad (3)$$

Fig 6.

(*) Transient Response characteristics

[illegible]

نفسه بخور

شیرین در $\Delta\theta$ (صغیره ج) تغییر المکان (14) - مقدار تغییر در انرژی

$$= V_x + 1 + \Delta V_x + 1 - V_x - V_y \Delta\theta = (\Delta V_x - V_y \Delta\theta) \quad (15)$$

[illegible]

$$u_y = \frac{dv_y}{dt} + v_x \frac{d\theta}{dt} = \dot{v}_y + v_x \Omega_z \quad \text{--- (7)}$$

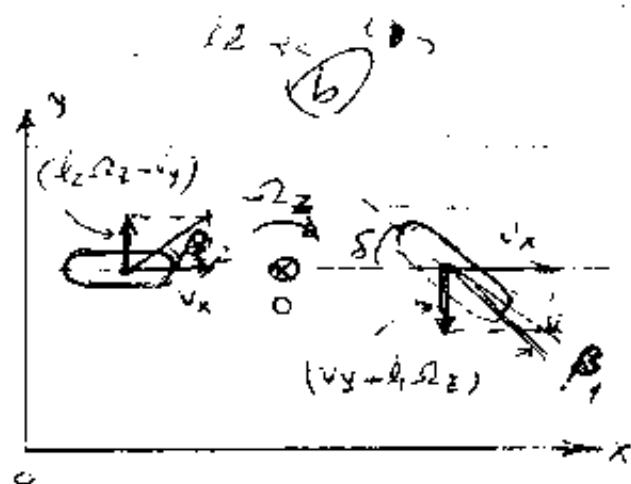
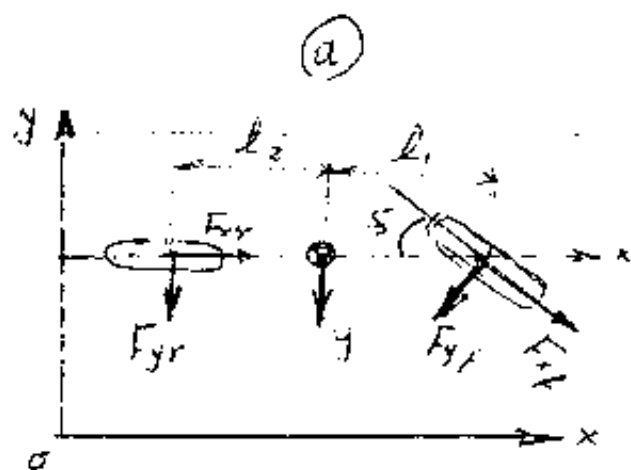


Fig 8 : Simplified vehicle model for analysis

باعتبار هذا النموذج (كما في الشكل Fig 8) يمكن استخلاص المعادلات الآتية:

$$m(\dot{v}_x - v_y \Omega_z) = F_{yf} \cos \delta + F_{xr} - F_{yf} \sin \delta \quad (8)$$

$$m(\dot{v}_y + v_x \Omega_z) = F_{yr} + F_{yf} \cos \delta + F_{xf} \sin \delta \quad (9)$$

$$I_z \dot{\Omega}_z = l_f F_{yf} \cos \delta - l_z F_{yr} + l_f F_{xf} \sin \delta \quad (10)$$

حيث I_z هي لحظة القصور الذاتي للمركبة حول Z . l_z و l_f مسافة مركز المركبة عن مركز الدوران (rail me + cam) (مركز التماس).

فإذا لم تكون المركبة في حالة قصبة، أدت إلى زاوية ميل المركبة (ج) لتتخطى خطها.

باعتبار أن المركبة تتحرك بسرعة v_x و v_y و Ω_z .

تأثيرات هذه السرعات (كما في الشكل 8) هي:

assumptions :

$$\beta_1 = \delta - \frac{v_y + l_f \Omega_z}{v_x} \quad (11)$$

$$\beta_2 = \frac{l_z \Omega_z - v_y}{v_x} \quad (12)$$

المفروضات الأساسية المؤثرة في الحركة هي: الأضامة والاضامة. السرعات v_x و v_y و Ω_z هي السرعات المتوسطة.

$$S_f : F_{yf} = 2 C_{yf} \cdot \beta_1 \quad (13)$$

$$S_r : F_{yr} = 2 C_{yr} \cdot \beta_2 \quad (14)$$

بعد تبسيط (11) ، (12) ، (13) و (14) وحذف قيم السرعات v_x و v_y و Ω_z ، نحصل على:

$$m \dot{v}_y + \left[m v_x + \frac{2 l_f C_{yf} - 2 l_z C_{yr}}{v_x} \right] \Omega_z + \left[\frac{2 C_{yf} + 2 C_{yr}}{v_x} \right] v_y = 2 C_{yf} \cdot \delta(t) \quad (15)$$

$$I_z \dot{\Omega}_z + \left[\frac{2 l_f^2 C_{yf} + 2 l_z^2 C_{yr}}{v_x} \right] \Omega_z + \left[\frac{2 l_f C_{yf} - 2 l_z C_{yr}}{v_x} \right] v_y = 2 l_f C_{yf} \cdot \delta(t) \quad (16)$$

حيث $\delta(t)$ هي دالة دلتا عند $t=0$. $\delta(t)$ هي دالة دلتا عند $t=0$. $\delta(t)$ هي دالة دلتا عند $t=0$. $\delta(t)$ هي دالة دلتا عند $t=0$.

(*) Directional stability

وهي قابلية مركب الجهد الميكانيكي على موازنة أحماله بكونه ضد المؤثرات التي يهت

The equations of lateral motions are cast of (L.D.E.) with general coeff. as shown in eqn (15) & (16) -

عندئذ تنقسم الحركة الميكانيكية إلى حالتين الأولى مستقرة (مستقرة) والثانية غير مستقرة (غير مستقرة) exponentially (ع) و يتحدد استقرار الحركة من قيمة قيمة ψ .

- (1) $\psi > 0$ & real $\Rightarrow \Omega_z$ & v_y increase exponentially with (t) .
تكون الحركة غير مستقرة أي هوائية
- (2) $\psi < 0$ & real \Rightarrow مقارب قيمة الحركة من الصفر بوقت محدد
- (3) ψ is complex with (+) real part \rightarrow The motion will be oscillatory with increasing amplitudes (directionally unstable)
- (4) ψ " complex with (-) real part \rightarrow The motions are oscillatory with decreasing amplitudes (directionally stable) -

اذن فالمركبة المستقرة الاتجاهية للحركة هي (المرور) كما في الشكل

والبحصول على قيم ψ نأخذ حل المعادلات التفاضلية (المركبة) التي بينت (مستقرة) (16) (15) فنحصل على

$$v_y = A_1 e^{\psi t} \quad (17)$$

$$\Omega_z = A_2 e^{\psi t} \quad (18)$$

$$\dot{v}_y = A_1 \psi e^{\psi t} \quad (19)$$

$$\dot{\Omega}_z = A_2 \psi e^{\psi t} \quad (20)$$

بالتعويض في المعادلتين (16) (15) وبعدها حلها نحصل على المعادلتين التفاضليتين

$$m A_1 \psi + Q_1 A_1 + U_2 A_2 = 0 \quad (23)$$

$$I_z A_2 \psi + U_3 A_1 + U_4 A_2 = 0 \quad (24)$$

حيث amplitude هي وهي معادلة تفاضلية equations

where $Q_1 = \frac{2C_{Df} + 2C_{Dr}}{V_x}$; $U_2 = \frac{m v_x^2 + 2k_1 C_{Df} - 2k_2 C_{Dr}}{V_x}$

$$Q_3 = \frac{2k_1 C_{Df} - 2k_2 C_{Dr}}{V_x} ; U_4 = \frac{2k_1^2 C_{Df} + 2k_2^2 C_{Dr}}{V_x}$$

والبحصول على الحل عند الممرات (المعدية) و ψ نأخذ حل المعادلات التفاضلية

$$\begin{vmatrix} m\psi + a_1 & a_2 \\ a_3 & I_2\psi + a_4 \end{vmatrix} = 0 \quad \text{---(25)}$$

و دایره ای در صفحه مختصات ψ و $\dot{\psi}$ قرار می گیرد

$$mI_2\psi^2 + (I_2a_1 + ma_4)\psi + (a_1a_4 - a_2a_3) = 0 \quad \text{---(26)}$$

اذا كان $a_1a_4 - a_2a_3 > 0$ (موجب) و $I_2a_1 + ma_4 > 0$ (موجب) و $mI_2 > 0$ (موجب) ...

negative real part \Rightarrow complex roots having (-) real part

و $I_2a_1 + ma_4$ و mI_2 هر دو دایره ای موجبه (مثبت) و $a_1a_4 - a_2a_3$ دایره ای موجبه (مثبت) ...

if $a_1a_4 - a_2a_3 > 0 \rightarrow$ vehicle is directionally stable

or $L + \frac{v_x^2}{g} - K_{us} > 0 \quad \text{---(27)}$

تفاوت K_{us} (مثبت) و $L + \frac{v_x^2}{g}$ (مثبت) ...

و K_{us} (مثبت) و $L + \frac{v_x^2}{g}$ (مثبت) ...
 و K_{us} (مثبت) و $L + \frac{v_x^2}{g}$ (مثبت) ...
 و K_{us} (مثبت) و $L + \frac{v_x^2}{g}$ (مثبت) ...

① vehicle is directionally stable

و K_{us} (مثبت) و $L + \frac{v_x^2}{g}$ (مثبت) ...

$$v_x < \sqrt{\frac{gL}{-K_{us}}} \quad \text{---(28)}$$

② vehicle is directionally unstable

[$v_x \geq v_{crit}$]

اذا كانت سرعة ...

(Steady state Response to a Steady Input) نقص سرعة دوران المحرك

$$G = 9.919 \text{ kN} \Rightarrow m = 9919 / 9.81 = 1011 \text{ kg}$$

$$I_z = 1031 \text{ kg.m}^2$$

$$V_x = 80.5 \text{ km/h} = 22.36 \text{ m/s}$$

$$a_1 = \frac{2C_{x_f} + 2C_{x_r}}{V_x} = \frac{2 \times 58.62 + 2 \times 71.36}{22.36} = [11.69] \text{ (1)}$$

$$a_2 = \frac{mV_x^2 + 2l_1 C_{x_f} - 2l_2 C_{x_r}}{V_x}$$

$$= \frac{1011(22.36)^2 + 2 \times 1.22 \times 58.62 - 2 \times 1.04 \times 71.36}{22.36}$$

$$a_2 = 22605.7$$

$$a_3 = \frac{2l_1 C_{x_f} - 2l_2 C_{x_r}}{V_x} = \frac{2 \times 1.22 \times 58.62 - 2 \times 1.04 \times 71.36}{22.36}$$

$$a_3 = -0.241$$

$$a_4 = \frac{2(1.22)^2 \times 58.62 + 2(1.04)^2 \times 71.36}{22.36} = 10.8$$

$$\begin{vmatrix} 1011 + 11.69 & 22605.7 \\ -0.241 & 1031 + 10.8 \end{vmatrix} = 0$$

$$1042341\psi^2 + 10918.8\psi + 12052.4\psi + 126.25$$

$$+ 5447.97 = 0$$

$$1042341\psi^2 + 22971.2\psi + 5574.22 = 0$$



Vertical Dynamics

* Human Response to vibration

Vibrational parameters are in general

- Displacement
- velocity
- acceleration & jerk ^{تسارع و تسارع} over the frequency range of interest.

The sources of vibration of the vehicle may be due to

1. road roughness
2. unbalance of the engine
3. The whirling of shafts ^{الاهتزاز الدائري}
4. The cam forces
5. The torsional fluctuations

The assessment of human response to vibration is complex in that results are influenced by the variations in individual sensitivity.

The vibration may be $\begin{cases} \text{Free vibration} \\ \text{forced vibration} \end{cases}$

The free vibration may occur when the vehicle passes over an isolated irregularity in the road surface which may be

• period of oscillation: The time in second during which the body completes one full cycle.

• frequency of excitation: $f = \frac{1}{T}$, the no. of cycles taking place in a unit of time
cycles/sec. [Hertz]

• Amplitude: Max. displacement from the equilibrium position

• Jerk: Rate of change of acceleration [m/s^3]

من المعلوم ان نظرية القصور للركبات هي نظرية متقدمة مرتبة الحركة رأسية
بين التذبذب عن التوازن المستقر لحركتها مرتبة الحركة
(bounce & pitching) vertical motions

• The natural frequency of bouncing & pitching

motion are of the same order of magnitude and generally less than (1 Hz). The wheels move up & down with greater rapidity having natural frequency (6-10 times greater than that of the body motions).

هذا التردد الطبيعي في natural frequency بين تذبذب الجس (bounce & pitch)

The vibration causes human discomfort.

The acceleration in vibratory motion is directly proportional to both (amplitude (a) & frequency (f)), discomfort is equally dependant on both of these factors.

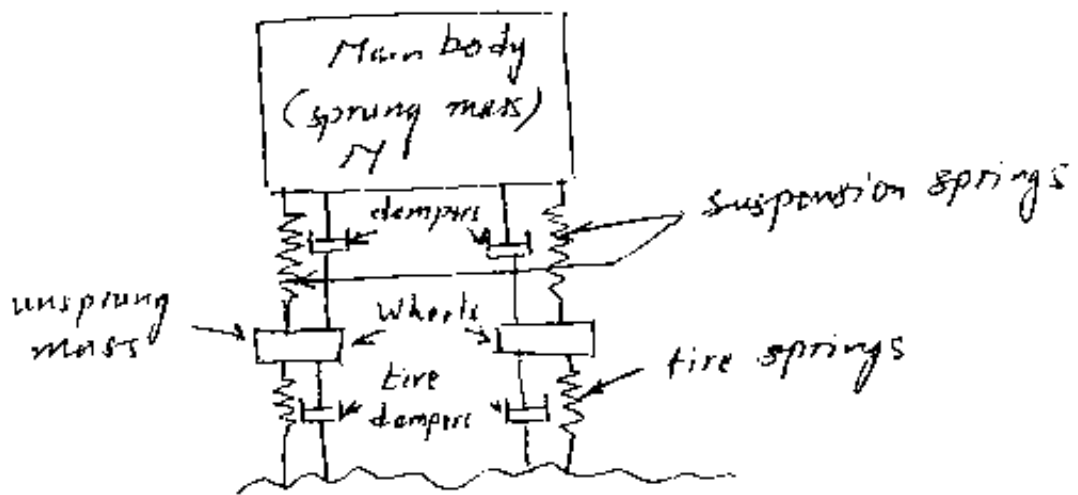
on the basis of experimental results the so-called "comfort curve" corresponds approximately to the eqn.

$$[a f^{2.7} = 127500]$$

where a - is amplitude or displacement [cm]
 f - " frequency of vibration [cm/min]

ولذلك يقال ان مستوى الراحة في مستوى الراحة ، فأكبر شدة اهتزاز

- vertical } of the vehicle body. The vehicle body is
- rotational } represented by a sprung mass which is constrained by
springs and dampers shown in (Fig 2) below



⊗ vehicle vibration with single Degree of Freedom

نموذج اهتزاز النظم الميكانيكية بدرجة واحدة من حرية الحركة

The mass (M) supported on spring of stiffness K (kgf/cm) with damper having damping coefficient c (kgf/cm/s) [kg/s], the excitation is represented by $F(t)$. $x(t)$ - displacement at any time

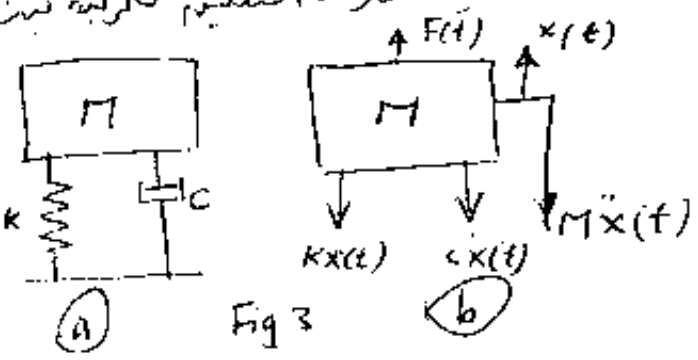


Fig 3

The (F.B.D) is shown in (Fig 3b).

Now Newton's second law gives:

$$[F(t) - c\dot{x}(t) - kx(t) = M\ddot{x}(t)] \quad \text{--- (1)}$$

Let $\left. \begin{aligned} \frac{c}{M} &= 2\xi\omega_n \\ \frac{k}{M} &= \omega_n^2 \\ \frac{F(t)}{k} &= f(t) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{المستقرم عند التردد} \\ &\text{في المعادلة (1) نكتب} \\ &\text{(أي بقسمة المعادلة على M)} \end{aligned}$

$$[\ddot{x}(t) + 2\xi\omega_n\dot{x}(t) + \omega_n^2x(t) = \omega_n^2 f(t)] \quad \text{--- (2)} \quad \omega_n^2 \quad f(t) \quad \frac{k}{M} \quad \frac{F(t)}{k}$$

where ξ is the damping ratio and ω_n is the undamped natural frequency.

② Free vibration In this case $F(t) = 0$

equ. (2) becomes

$$[\ddot{x}(t) + 2\xi\omega_n\dot{x}(t) + \omega_n^2x(t) = 0] \quad \text{--- (3)}$$

The solution of equ. (3) $\Rightarrow x = Ae^{\lambda t}$ --- (4)

بما أننا نطلب حلولاً (4) فنتبين ونفرضها في (3) والمعادلة التي نحصل عليها

$$\lambda^2 + 2\xi\omega_n\lambda + \omega_n^2 = 0 \quad \text{--- (5)} \quad \Rightarrow \lambda_{1,2} = -\xi\omega_n \pm \omega_n\sqrt{\xi^2 - 1}$$

hence the solution becomes

$$[x = A_1e^{\lambda_1 t} + A_2e^{\lambda_2 t}] \quad A_1, A_2 = \text{const.}$$

* Three cases ① when $\xi > 1 \Rightarrow \lambda_1, \lambda_2$ are (-) & $x(t)$ decays with increase of t



② critically damped case $\xi = 1$ & $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ the solution is given by $x(t) = (A_1 + A_2t)e^{\lambda t}$



③ under-damped case

This is our interest in which the system vibrates [$\xi < 1$]

the sol. is

$$x(t) = e^{-\xi \omega_n t} (A_1 e^{i \omega_d t} + A_2 e^{-i \omega_d t})$$

$$= e^{-\xi \omega_n t} (B_1 \cos \omega_d t + B_2 \sin \omega_d t)$$

المطلوب

$$[x(t) = B e^{-\xi \omega_n t} \cos(\omega_d t - \phi)] \quad \text{--- (6)}$$

where B, B_1, B_2 & ϕ are constants & depends upon initial conditions

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} \quad \text{--- (7)}$$

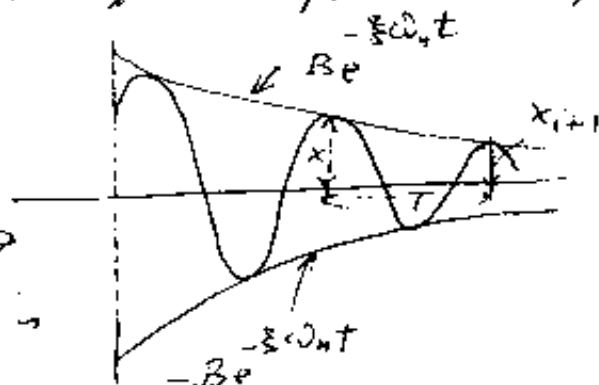
$$B_1 = B \cos \phi \quad \text{--- (8)}$$

$$B_2 = B \sin \phi \quad \text{--- (9)}$$

$$\tan \phi = \frac{B_2}{B_1} \quad \text{--- (10)} \quad \& \quad \omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} \quad \text{--- (11)}$$

is called the damped natural frequency

The response $x(t)$ oscillates within an envelope defined by $[x = \pm B e^{-\xi \omega_n t}] \rightarrow$
The ratio of successive amplitude is given by



$$\frac{x_i}{x_{i+1}} = \frac{e^{-\xi \omega_n t_i}}{e^{-\xi \omega_n (t_i + T)}} \quad \text{--- (12)} \quad (\text{Fig 4})$$

$$\frac{x_i}{x_{i+1}} = e^{\xi \omega_n T} = e^{\frac{2\pi \xi}{\sqrt{1 - \xi^2}}} \quad \text{--- (13)}$$

where T is the time period $\therefore T = \frac{1}{f_d} = \frac{1}{f_n \sqrt{1 - \xi^2}} = \frac{2\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \xi^2}}$

Now ln of two sides of eqn. (13)

(7)

$$\ln \frac{x_i}{x_{i+1}} = \frac{2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \quad \text{if } \xi \ll 1 \text{ approx}$$

$$\left[\ln \frac{x_i}{x_{i+1}} = 2\pi\xi \right] \quad \text{--- (14)}$$

For no damping $[\xi = 0]$ & the response is given by $[x(t) = B \cos(\omega_n t - \phi_1)]$ --- (15)

Ex The springs of a motor vehicle carry a total load of 1150 kgf & with equal springing front & rear, the combined spring rate is 90 kgf/cm. Calculate the frequency of vertical natural vibration with the dampers removed. If the dampers are adjusted to give a total damping force (4.5 kgf/cm/sec), calculate the frequency of damped vibrations and the ratio of the second downward movement to the 1st downward movement.

Sol. Given $B = 1150 \text{ kgf}$
 $\kappa = 90 \text{ kgf/cm}$ $c = 4.5 \text{ kgf/cm/sec.}$

$$\text{Now } \omega_n = \sqrt{\frac{\kappa}{M}} = \sqrt{\frac{\text{kgf}}{\text{G}}} = \sqrt{\frac{90 \times 981}{1150}} = 8.762 \text{ rad/sec.}$$

$$\therefore f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{8.762}{2\pi} = 1.394 \text{ Hz}$$

$$\text{Since } 2\xi\omega_n = \frac{c}{M} \Rightarrow \xi = \frac{c}{2\omega_n M} = \frac{4.5}{2 \times 8.762 \times \frac{981}{1150}} \\ \xi = 0.219$$

$$\text{Now } f_d = f_n \sqrt{1-\xi^2} = 1.394 \sqrt{1-0.219^2} = 1.36 \text{ Hz}$$

$$\therefore \text{ratio of successive amplitudes} = \frac{-2\omega_n \xi T}{-2\pi f_n \xi} = e^{\frac{-2\pi \xi}{\sqrt{1-\xi^2}}} = e^{\frac{-2\pi \times 0.219}{\sqrt{1-0.219^2}}} = e^{-1.41} = \underline{0.244}$$