

اثر ارتعاشات روی مقاومت زمین در مقابل فرو کردن پایه‌ها و ورق‌ها

از: علی اصغر حائری

اثر ارتعاشات در روی این مقاومت‌ها موضوع این مقاله میباشد. در اینجا برای دو قسمت a, b فقط نتایج حاصله را که تجربی است ذکر کرده و مقاومت c را کاملاً تشریح میکنم.

قسمت اول a:

۱- خواص حقیقی مقاومت عرضی در مقابل تغییر مکان یک سطح مرتعش در زمین (در جهت کشش) با مقاومتی که در اثر نیروی استاتیکی حاصل میگردد تفاوت زیادی دارد.

۲- دامنه و فرکانس ارتعاشات نیروی اصطکاک خارجی را کم میکند.

۳- شتاب نوسانات، مقاومت زمین را در موقع بیرون آوردن جسمی از آن کم میکند و این تقلیل مقاومت برای مقادیر شتاب ضعیف آشکارتر است.

۴- مقاومت متوسط برای بیرون آوردن ورقی که جزئی از یک پرده (مجموع چند ورق متصل بهم) باشد ۲ الی ۳ برابر مقاومت یک ورق تنها است.

۵- مقاومت زمین باماسه خشک خیلی نزدیک به فرضیه اصطکاک خشک بوده در حالیکه ضریب اصطکاک خارجی در اثر ارتعاش ۵ مرتبه کمتر از اثر نیروی استاتیکی است. پس میتوان چنین تشبیه کرد که دانه‌های ماسه در سطح خارجی ورق میغلطند.

قسمت دوم b:

۱- ارتعاشات ضریب اصطکاک داخلی (اصطکاک

فرو کردن پایه‌های چوبی و لوله‌ها و ورقه‌های فلزی در زمین توسط ارتعاشات، موضوعی است که در سد سازی و گاهی اوقات در ساختمانهای دریائی دارای اهمیت زیادی است. این علم امروزه در دنیا رو به تکامل بوده و جانشین روش سابق که عبارت از استفاده از چکش‌های ضربه‌ای بود گردیده است. لازم بیاد آوری است که روس‌ها در این راه پیش قدم بوده. مطالعات و تحقیقات پروفیسور Barkan روی چند سد بزرگ دنیا نشان میدهد که استفاده از نیروی ارتعاشی بجای نیروی ضربه‌ای مخارج فرو کردن ورق‌های فلزی را نصف کرده و سرعت عمل را سه برابر میکند ولی متأسفانه در این مورد تئوری زیادی وجود ندارد و مسئله مورد مطالعه برای این علم عبارت از تحقیق تغییرات اصطکاک در حین فرورفتن پایه‌ها است.

مقاومت زمین در موقع فرو کردن (یا بیرون آوردن) یک پایه باروش نیروی ارتعاشی سه قسمت تقسیم میگردد.

a - مقاومت عرضی که خود عبارت از جمع دو نیرو است. نیروی اصطکاک خارجی و دیگری نیروی چسبندگی بین زمین و پایه میباشد.

b - مقاومت نیروی چسبندگی زمین (اصطکاک داخلی).

c - مقاومت زمین در نوك پایه‌ها یا ورق‌ها.

$$p = \frac{Q}{P}, \quad \mu^2 = \frac{R}{M\omega^2}, \quad r = \frac{R}{P} \frac{M\omega^2}{c} \quad (2)$$

M : جرم کل دستگاه .

R : مقاومت پیشانی زمین در فرورفتن جسم .

P : دامنه نیروی دینامیکی ویراتور .

$$P = \frac{Q_0 \varepsilon}{g} \omega^2$$

Q₀ : وزن ویراتور .

Q₀ Σ : همان خارج از مرکز ویراتور .

Q : وزن کل دستگاه (ویراتور و المان) .

ω : سرعت زاویه‌ای ویراتور .

c : ضریب سختی الاستیک زمین .

فضای فازهای (V, U, τ) (زمان تناوب -

تغییر مکان - سرعت) در دستگاه مختصات شکل (۱)

از سه تحت فضا تشکیل شده است .

$$\Phi_1(u \geq 0) - 1$$

$$v < 0, u = -r \quad \Phi_2(-r < u < 0) - 2$$

$$\Phi_3(u = -r, v \geq 0) - 3$$

برای هر یک از فضاها معادله حرکت از شکل

(۱) بصورت معادلات دیفرانسیل زیر نوشته میشود .

$$V' = p + \sin \tau \quad u' = -V \quad \text{اگر } u \geq 0 \quad (3)$$

$$V' = p + \sin \tau + \mu^2 u \quad u' = -V \quad \text{اگر } -r < u < 0 \quad \text{یا } u = -r, V \leq 0 \quad (4)$$

$$V' = p + \sin \tau + \mu^2 u \quad u' = 0 \quad \text{اگر } u = -r, V \geq 0 \quad (5)$$

حرکت نقاطیکه در فضای فاز Φ_1 قرار دارند

مربوط بحرکت ورقه‌هاییست که از زمین اطراف کنده

میشوند و در Φ_2 حرکت ورق با زمین اطراف خود

بوده و در Φ_3 حرکت ورق با فرورفتگی محل تماس

ورق با زمین است . حال حرکتی را که در دستگاه

مختصات (۱) ممکن است پیش آید مطالعه میکنیم .

تبدیل L مسیر تحت فضای Φ_1 را مشخص میکند

(شکل ۱-a) نقاط فازیکه مسیر تحت فضای Φ_2 را طی

بین ذرات خاک) را تقلیل میدهند. این اصطکاک بستگی به دامنه و فرکانس و شتاب نوسانات دارد.

۲- برای یک گیرائی در آب حدود 13% ارتعاشات اثر می‌نیمد در روی تقلیل ضریب اصطکاک داخلی ماسه دارند .

۳- هنگامیکه قطر ذرات ماسه بزرگ شوند،

اثر ارتعاشات بر طبق قانون خطی افزایش مییابد.

c - مقاومت زمین در نوک جسم فرورونده

این مسئله در حله اول توسط Blekhnman,

Shliaktin, Koushoul, Newmark مورد

مطالعه قرار گرفت. این دانشمندان سعی کردند روابطی

بین سرعت فروروندگی و پارامترهای ارتعاشی وارده

بر جسم بدست آورند. با فرض اینکه مقاومت عرضی

و مقاومت پیشانی زمین (محل تماس با ورق) ثابت مانده

و مستقل از دامنه و فرکانس ارتعاش باشند .

ولی مطالعه قسمت‌های a, b نشان میدهد علاوه

بر آنکه ارتعاشات اصطکاک خارجی و داخلی را تغییر

میدهد (مخصوصاً در زمین‌های ماسه‌ای) اثر زیادی

در روی مقاومت زمین در نوک جسم فرورونده دارد.

به همین جهت ما از راه حل Batalova ایده

گرفته و برای جالب ترین حرکتی که ممکن است در

عمل وجود داشته باشد فرمولی تقریبی بین سرعت جسم

فرورونده و پارامترهای دستگاه بدست میاوریم. معادلات

دیفرانسیل حرکت با در نظر گرفتن مقاومت نوک

زمین و متغیرهای زیر

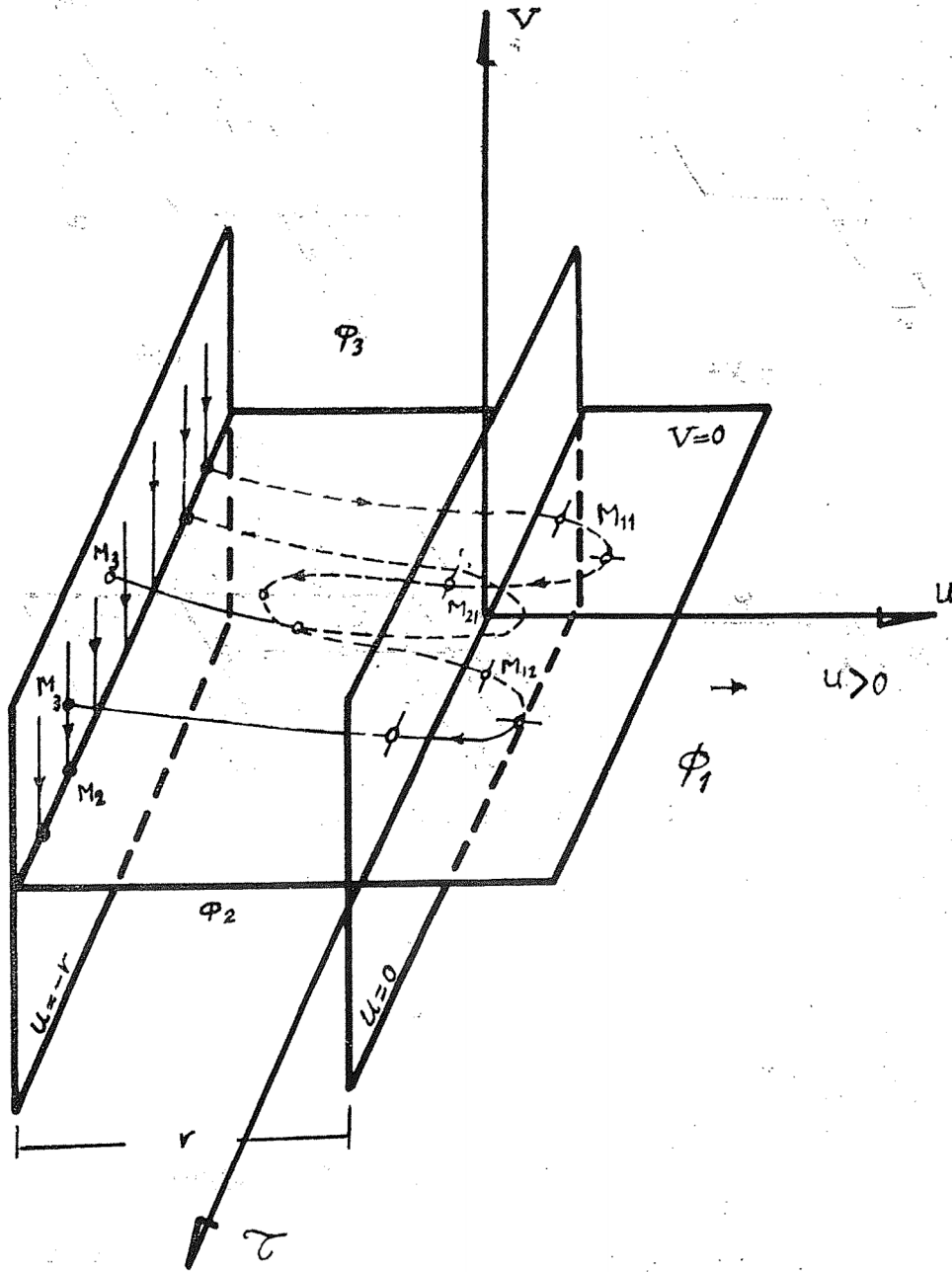
$$\tau = \omega t + \pi, \quad \xi = \frac{M\omega^2}{P}$$

چنین خواهند بود

$$V' = p + \sin \tau + \begin{cases} 0 & \text{اگر } u \geq 0 \\ \mu^2 u & \text{اگر } -r < u < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$u' = \begin{cases} -v & \text{برای } u > -r \\ 0 & \text{اگر } u = -r, V < 0 \\ 0 & \text{اگر } u = -r, V \geq 0 \end{cases}$$

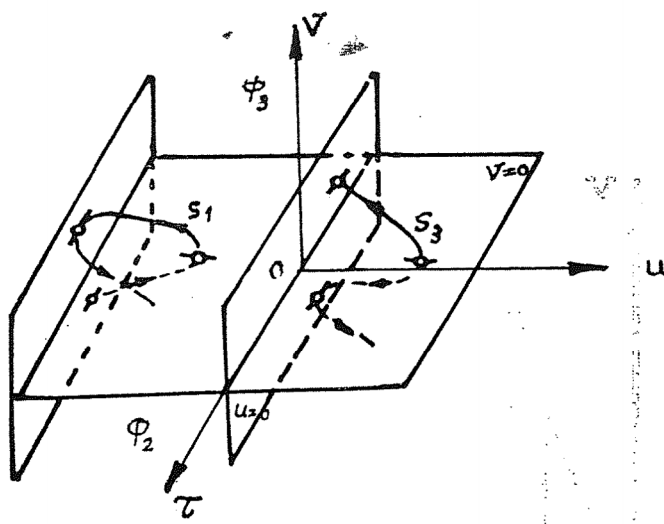
که در آن:



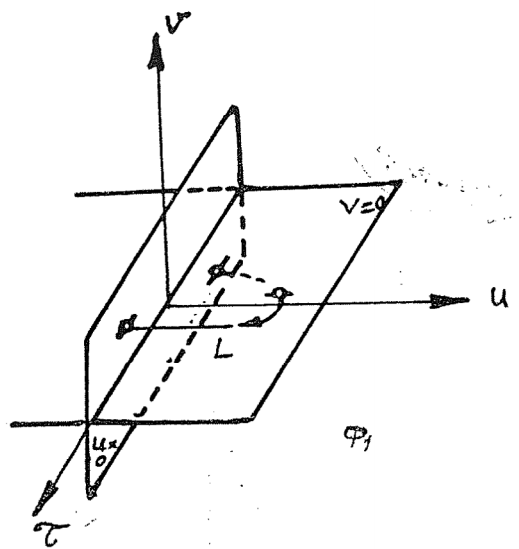
(شکل 1)

بعداً حرکات را برای تقاطعی از فاز، بعد از آنکه چندین بار صفحه $V=0$ را قطع کردند امتحان میکنیم البته در زمان $\tau < \Gamma$ یکی از صفحات ختم میگردد. در تحت فضای Φ_3 برای مقادیری از پارامترها که شرط $-1 \leq p - r\mu^2 \leq 0$ را تأمین کنند. معادلات

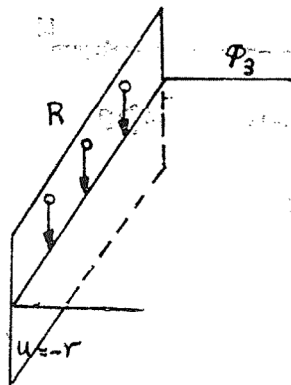
میکنند یعنی از نیم صفحه $u = -r$, $V < 0$ یا $(u = 0, V > 0)$ شروع بحرکت نماید تبدیلات S_4 و S_2 یا S_3 و S_1 را خواهیم داشت شکل (1-b) و (1-c) در هر یک از تحت فضای Φ_1 و Φ_2 حرکات با دوبار قطع نمودن صفحه $V=0$ امکان پذیر است.



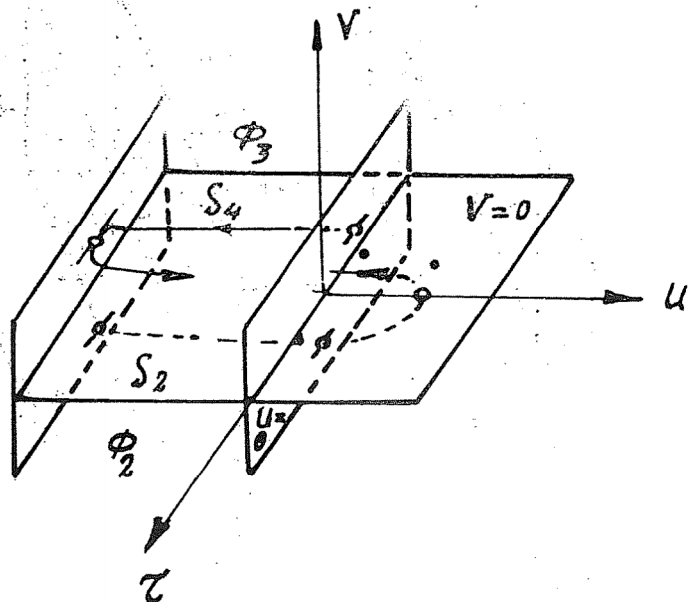
(شکل 1 - b)



(شکل 1 - a)



(شکل 1 - d)



(شکل 1 - c)

از تبدیل R که در شکل (1-d) نشان داده

واز روی مطالعه Batalova میتوان گفت:

(1) تبدیل خط مستقیم $V=0$, $u=-r$ بر

روی خودش

$$T_0 = S_1 R \quad T_K = S_2 L^{K-1} S_4 R$$

($K=1, 2, 3$)

(2) تبدیل نیم صفحه $V < 0$, $u=0$ بر

روی خودش ($K_j = (LS_3)^j$ ($J=1, 2, 3, \dots$)) در

حالت اول از روی مطالعه تبدیل T_K میتوان حرکت

زیر را داریم .

$$\tau_{1K} = \pm 2K\pi + \arcsin |p - r\mu^2| \quad u = -r \quad (6)$$

$K=0, 1, 2$

$$\tau_{2K} = (\pm 2K + 1)\pi - \arcsin |p - r\mu^2| \quad (7)$$

$u = -r$

برای $p - r\mu^2 < -1$ نقاط واقع در تحت فضای

Φ_3 به خط مستقیم $u = -r$, $V = 0$ ختم میگردد .

در لحظه τ_2 عبور نقطه‌ای از فاز Φ_3 به Φ_2 باید تحت

شرط زیر باشد .

$$p - r\mu^2 + \sin \tau_2 \leq 0 \quad (8) \quad \text{یعنی}$$

آرام ورقها را با فرورفتگی زمین (در محل تماس با ورق) تعیین کرد.

و در حالت دوم بدون فرورفتگی زمین:

۱- حرکات غیر آرام ورقها با فرورفتگی زمین

مسیر فازهای (1) از روی تبدیل قطعه $(2\pi, 0)$ خط مستقیم $V=0, u=-r$ بر روی خودش تعیین میگردد. معادلات مسیر تحت فضای $\Phi_1(1, 2, 3)$ که از نقطه M_i میگذرد بصورت زیر است:

$$\begin{cases} V(\tau) = V_1 + p(\tau - \tau_1)\cos\tau - \cos\tau_1 \\ u(\tau) = \frac{-p}{2}(\tau - \tau_1)^2 + (V_1 + \cos\tau_1)(\tau - \tau_1) \\ \quad + \sin\tau - \sin\tau_1 \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} V(\tau) = c_1 \cos\mu\tau + c_2 \sin\mu\tau + \frac{\cos\tau}{\mu^2 - 1} \\ u(\tau) = \frac{1}{\mu}(-C_1 \sin\mu\tau + C_2 \sin\mu\tau) - \frac{\sin\tau}{\mu^2 - 1} - \frac{p}{\mu^2} \end{cases} \quad (10)$$

که در آن

$$\begin{aligned} c_1 &= (V_2 - \frac{\cos\tau_2}{\mu^2 - 1}) \cos\mu\tau_2 - (p + \mu^2 u_2 + \frac{\mu^2 \sin\tau_2}{\mu^2 - 1}) \frac{\sin\mu\tau_2}{\mu} \\ c_2 &= (p + \mu^2 u_2 + \frac{\mu^2 \sin\tau_2}{\mu^2 - 1}) \frac{\cos\mu\tau_2}{\mu} + (V_2 - \frac{\cos\tau_2}{\mu^2 - 1}) \sin\mu\tau_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V(\tau) &= V_3 + (p - r\mu^2)(\tau - \tau_3) - \cos\tau + \cos\tau_3 \\ u(\tau) &= -r \end{aligned} \quad (11)$$

برای تبدیل $T_K (K=0, 1, 2)$ محاسبات با دقت $\varepsilon > 0$ و بکمک ماشین الکترونیک انجام گرفته بدین ترتیب که اول روی خط مستقیم $V=0, u=-r$ مقدار $\tau_2 \in (0, 2\pi)$ را بنحویکه شرط (8) را تأمین کند انتخاب نمودیم. مسیر فازهاییکه از نقطه $M_2(\tau_2, 0, -r)$ گذشته خواه نیم صفحه $u=0$ ، $V \leq 0$ را در نقطه $M_1(\tau_1, V_1, 0)$ قطع نموده خواه نیم صفحه حد $V \geq 0, u=-r$ را در نقطه

$M_3(\tau_3, V_3, -r)$ قطع کنند پیدا میکنیم برای تعیین لحظه ایکه این مسیر نیم صفحهها را قطع کند بایستی کوچکترین ریشه معادله ترانساندانت (Transcendente) زیر را تعیین کرد یا اینکه $u(\tau)=0$ از τ_2 تجاوز کند $u(\tau)$ از روی معادله (10) تعیین میشود [برای محاسبه این ریشه بایستی اعداد تصاعدی t_0, t_1, t_2, \dots را از روی فرمول زیر بنا کرد.

$$\begin{aligned} t_K &= t_{K-1} + \Delta t_K \quad (K=1, 2, \dots) \quad t_0 > \tau_2 \\ |u(t_0) + r| &> \varepsilon \\ \Delta t_K &= \frac{1}{H} \min \{ |u(t_{K-1})|, |u(t_{K-1}) + r| \} \end{aligned}$$

که در آن

$$\begin{aligned} H &= [|c_1| + |c_2| + \frac{1}{|\mu^2 - 1|}] \frac{1}{\mu} \\ \text{و تعداد } t_K \text{ ای که نامعادله زیر تأمین کند پیدا کرد.} \\ |u(t_K) + r| &< \varepsilon [u(t_K) + r] [u(t_K + 2\varepsilon) + r] \leq 0 \end{aligned} \quad (12)$$

برای $r=0$ مقدار تقریبی برای τ_1 خواهیم داشت. و برای $r \neq 0$ مقدار تقریبی τ_3 را داریم و برای $\tau = t_K$ مقدار V_1 و V_3 را از معادله (11) خواهیم داشت.

فرض کنیم که برای $r=0$ نامعادله (12) تأمین گردد و مسیر فازها صفحه $V \leq 0, u=0$ را قطع کند و نقطه مورد نظر در آن طرف مسیر معادله (9) از تحت فضای Φ_1 که از نقطه $M_1(\tau_1, V_1, 0)$ میگذرد قرار گیرد. لحظه τ'_2 که در آن نقطه مورد نظر به نیم صفحه $V \geq 0$ و $u=0$ ختم میشود مسلماً کوچکترین ریشه معادله $u(\tau)=0$ است که در آن $\tau'_2 > \tau_1$ میباشد $u(\tau)$ را از معادله (9) حساب میکنیم.

برای تعیین τ'_2 مقادیر تصاعدی t'_0, t'_1, t'_2, \dots

را از روی فرمول زیر بنا میکنیم .

$$t'_K = t'_{K-1} + \frac{|u(t'_K)|}{\max |u'(\tau)|}$$

$$(K=1, 2, \dots) \quad [\tau \in (0, T)]$$

$$t'_0 > \tau_1, \quad |u(t'_0)| > \varepsilon$$

τ'_2 مقدار است برابر باحد بالای زمان تناوب حرکات آرام ورقها بطور تقریب مقدار $t'_K = \tau'_2$ را طوری انتخاب میکنیم که داشته باشیم .

$$|u(t'_K)| < \varepsilon, \quad u(t'_K) u(t'_K + 2\varepsilon) \leq 0$$

که مقدار V'_2 را بادر نظر گرفتن اینکه $\tau = \tau'_2$ از معادله (9) بدست میآوریم سپس نقطه مورد نظر در تحت فضای Φ_2 وارد میگردد . مسیر معادله (10) از نقطه $(0, V'_2, \tau'_2)$ گذشته خواه نیم صفحه $u=0$ و $V \leq 0$ را دوباره قطع مینماید و یا نیم صفحه $V \geq 0, u = -r$ را . بنا بر این باید نقطه تقاطع مسیر فاز را با یکی از این دو نیم صفحه تعیین کرد .

فرض کنیم شرط (12) با $r \neq 0$ پیش آید و مسیر فازها نیم صفحه $V \geq 0$ و $u = -r$ را قطع کند . نقطه مورد نظر از روی قانون (11) در تحت فضای Φ_3 قرار خواهد گرفت و خط مستقیم $u = -r, V = 0$ را در لحظه τ_2^* قطع میکند . τ_2^* از روی کوچکترین ریشه معادله $V(\tau_2^*) = 0$ تعیین میگردد (رجوع به فرمول (11) بشرطیکه $\tau_2^* \geq \tau_3$ باشد . سپس مقادیر زیر را بنام میکنیم .

$$t''_0, t''_1, t''_2, \dots, t''_0 = \tau_3$$

$$t''_K = t''_{K-1} + \frac{|V(t''_{K-1})|}{r\mu^2 - p + 1} \quad k = (1, 2, \dots)$$

τ_2^* تقریباً برابر است با t''_K ای که برای آن داشته باشیم .

$$|V(t''_K)| < \varepsilon, \quad V(t''_K) V(t''_K + 2\varepsilon) \leq 0$$

بنابراین میتوان تابع تبدیل T_K را جهت تعیین K توسط تقاطع نیم صفحه $V \leq 0, u = 0$ بنا نمود البته با استفاده از مسیر فازها یکیکه از نقطه $M_2(\tau_2, 0, -r)$

شروع بحرکت نماید از روی τ_2 و اینکه $\tau_2 \in (0, 2\pi)$ و $(n=0, 1, 2, \dots)$ $\tau_2^* = \tau_2 - 2\pi n$ باشد این تبدیل برای تمام مقادیر $\tau_2 \in (0, 2\pi)$ تعیین میگردد با استثنای τ_2 هائیکه شرط (8) را تأمین نکنند و همچنین آنهائیکه مسیرشان از $M_2(\tau_2, 0, -r)$ شروع شده نیم صفحه $V \geq 0, u = -r$ را در زمان $T - \tau_2$ قطع ننمایند .

تبدیل قطعه $(2\pi, 0)$ برای خط مستقیم $V=0, u=-r$ بر روی خودش از روی برنامه ماشین حساب الکترونیک مطالعه گردیده . برای مطالعه تأثیر پارامترهای سیستم در روی سرعت فرورفتن ورق در زمین از سرعت فرورفتن ورق در زمان $\theta = \tau_2^* - \tau_2$ و از فرمول زیر استفاده میکنیم .

$$V = \frac{1}{\theta} \int_{\tau_2}^{\tau_2^*} V(\tau) d\tau \quad (13)$$

که در آن $V(\tau)$ را از معادله (9), (11), (11) بر حسب اینکه نقطه مورد نظر در چه تحت قضائی باشد Φ_1, Φ_2, Φ_3 و برای حرکت آرام ورقها $\theta = 2\pi n$ و برای حرکت پایدار بر طبق یو آسون $(n=1, 2, \dots)$ و آزمایش ترسیمی تابع $V^*(p, \mu, r)$ ورقها و محاسبات انجام شده در روی سایر پارامترهای دستگاه (جمعاً بیش از 1000 مقدار V^* بازای مقادیر مختلف p, μ, r داده شده) نشان داده که سرعت ماگزیمم فرورفتن ورقها موقعی است که حرکت تحت رژیم تناوب ساده بوده و تناوب آن برابر تناوب نیروی خارجی باشد .

از دیاد یکی از پارامترها p یا r میتواند رژیم حرکت ورق را تغییر دهد مخصوصاً سرعت فرورفتن آنرا برای حرکت آرام ورقها با تناوب نیروی خارجی و با سوا شدن از زمین . نیروی ثابت Q باید نامعادله

$\frac{\Omega}{\omega} = 1,67$ در (16) نشان میدهد که برای مقدار V ما گزیمم خواهد شد. در اینحال برای انتخاب $\frac{\Omega}{\omega}$ بایستی امکانات دستگاه را در نظر گرفت.

از روی افزایش $\frac{R}{P}$ در رژیم حرکت کمپلکس با سرعت فرورفتن ضعیف مثلاً: اگر $\frac{R}{P} = 4,9$ و یا 6,8 یا 7,5 باشد بایستی $1,25, 1,30, 1,35$ را انتخاب کرد.

از روی معادلات (14), (15), (16) نتیجه میگیریم که اگر R زیاد شود بایستی $\frac{\Omega}{\omega} \neq 1$ بوده در نتیجه ω را کم نمائیم.

اثر مدول الاستیسته زمین بر سرعت فرورفتن ورق در زمین از روی معادله بین V, Ω مشخص میگردد با افزایش c مقدار V اول زیاد میشود بعداً پس از رسیدن بمقدار ما گزیمم خود. کاهش میابد برای حرکت ورقها باهمان تناوب نیروی خارجی وبدون سواشدن از زمین بایستی $R < Q < 0,74R$ باشد. افزایش Q در این فاصله مقدار V را خیلی کم تغییر میدهد بهمین جهت سرعت فرورفتن را برای نقاط این مرحله، از فرمول (16) تعیین میکنیم با در نظر گرفتن اینکه $Q = 0,74R$ باشد.

زیر را برقرار نماید $Q_1 < Q < Q^*$ که در آن

$$Q = R(0,15 \frac{\omega}{\Omega} + (0,25) \frac{\omega}{\Omega} P(0,075 \frac{\Omega}{\omega}, 175))$$

$$\Omega = \sqrt{\frac{c}{M}} \quad (14)$$

$$Q^* = 0,14(R + 6,54P) [1 + 0,46 (\frac{\Omega}{\omega} - 1)^{-1}]$$

$$\frac{\Omega}{\omega} > 1 \quad (15)$$

روابط (14), (15) از روش همبستگی غیر خطی چند مرتبه‌ای در روی نتایج حاصله از تعیین مقدار عددی V^* برای پارامترهای مختلف تعیین گردیده است.

برای $Q < Q_1$ ما دارای حرکت آرام ورقها با تناوب $\theta = 2\pi n$ که $(n > 1)$ خواهیم بود برای $\Omega > \omega, Q > Q^*$ حرکت کمپلکس و برای ورقها بدون فرورفتگی زمین ظاهر میشود (V^* کمی با صفر تفاوت دارد) برای نقاط واقع در سطح سرعت فرورفتن صفر بوده و سرعت برای نقاط واقع در فضای پارامترها از فرمول زیر تعیین میگردد.

$$V = 0,3 \sqrt{\frac{P}{R} \cdot \frac{\Omega}{M\omega^2} (1 - 0,3 \frac{\Omega}{\omega}) (P + 1,5Q)}$$

$$(16)$$

نتیجه

سرعت فرورفتن ورقها با Q و P زیاد شده و با افزایش ω, R کم میشود. V تابعی از پارامتر