F(x, 0) - Filippov set function,
F(.,.) upper semicontinuous at (x, 0)

+ תנאי התחלה

$$\dot{x} \in F\left(x(t-\tau[0,\tau]),\ \varphi(\tau, \varepsilon, x)\right)$$

$(t-\tau[0,\tau])$

הכללה!

$\varphi(\cdot) \subset \mathbb{R}^k$ - פונקציה קבוצתית הומוגנית

$\tau, h, \varepsilon \to 0$ $\varphi \to \{0\}$, לפי מרחק Hausdorff ו-$\varepsilon = 0$ ב-, $\varepsilon_1 < \varepsilon_2 \Rightarrow \varphi(\varepsilon_1, x) \subset \varphi(\varepsilon_2, x)$

Levant, Livne (2016)... יש תנאים חצי רציפות מלמעלה של $F(x,y)$ ב-$(x,0)$

$\Leftarrow$ התכנסות לגוף

$$\boxed{\|x\|_h \leq \mu \rho}, \quad \rho = \max\left(\tau^{\frac{1}{p}}, \|\varepsilon\|_h\right)$$

$\boxed{\deg t = p > 0}$ פורסם רק לצמי

$$F(d_\varkappa x, \hat{d}_\varkappa \varphi) = \varkappa^q d_\varkappa F(x, \varphi)$$

הומוגניות!

$$\varphi(\varkappa^p \tau, d_{\varepsilon\varkappa}\varepsilon, d_\varkappa x) = \hat{d}_\varkappa \varphi(\tau, \varepsilon, x)$$

Bhat, Bernstein (2000) KNC18

121b

$\deg x = 3, \quad \deg t = 1$

$\ddot{x} = -\lambda_1 [x]^{\frac{1}{3}} - \lambda_2 [\dot{x}]^{\frac{1}{2}} \quad ; \lambda_1, \lambda_2 > 0$

$\left(\ddot{x} = -\lambda_1 [x]^{\alpha} - \lambda_2 [\dot{x}]^{\beta} \right.$ זה מקרה פרטי של
$\left. \alpha, \beta \in [0,1] \right)$

$$\dot{x}_1 = \overset{(t_k)}{x_2} + \gamma [x_1]^{\frac{2}{3}} + \varepsilon_1 \cos x_1(t-\tau)$$

$$\dot{x}_2 = -\lambda_1 [x_1]^{\frac{1}{3}} - \lambda_2 \left[x_2\left(t - \tfrac{1}{2}\tau\right)\right]^{\frac{1}{2}} + \varepsilon_2 \cos(1000t)$$

$t \in [t_k, t_{k+1}), \quad 0 < t_{k+1} - t_k \leq \tau$

עבור $|\gamma| << 1$ δ

$$\rho = \max\left(\tau, \varepsilon_1^{\frac{1}{2}}, \varepsilon_2\right)$$

אחרי זמן סופי

$\Rightarrow |x_1| \leq \mu_1 \rho^3, \quad |x_2| \leq \mu_2 \rho^2$

דוגמא גזירה מסדר ראשון

נניח $|\ddot f_0(t)| \le L$ (f_0 פונקציה עם קבוע ליפשיץ L)

$L>0$

Levant 1998

$$\begin{cases} \dot z_0 = -\lambda_1 L^{\frac{1}{2}} \lceil z_0 - f_0 \rfloor^{\frac{1}{2}} + z_1 \\ \dot z_1 = -\lambda_0 L \underbrace{\lceil z_0 - f_0 \rfloor^{0}}_{\operatorname{sign}(z_0 - f_0)} \end{cases}$$

input $f(t) = f_0(t)$

אין רעש

$\lambda_0 = 1.1$
$\lambda_1 = 1.5$
פרמטרים

$$\sigma_0 = \frac{z_0 - f_0}{L}, \quad \sigma_1 = \frac{z_1 - \dot f_0}{L}$$

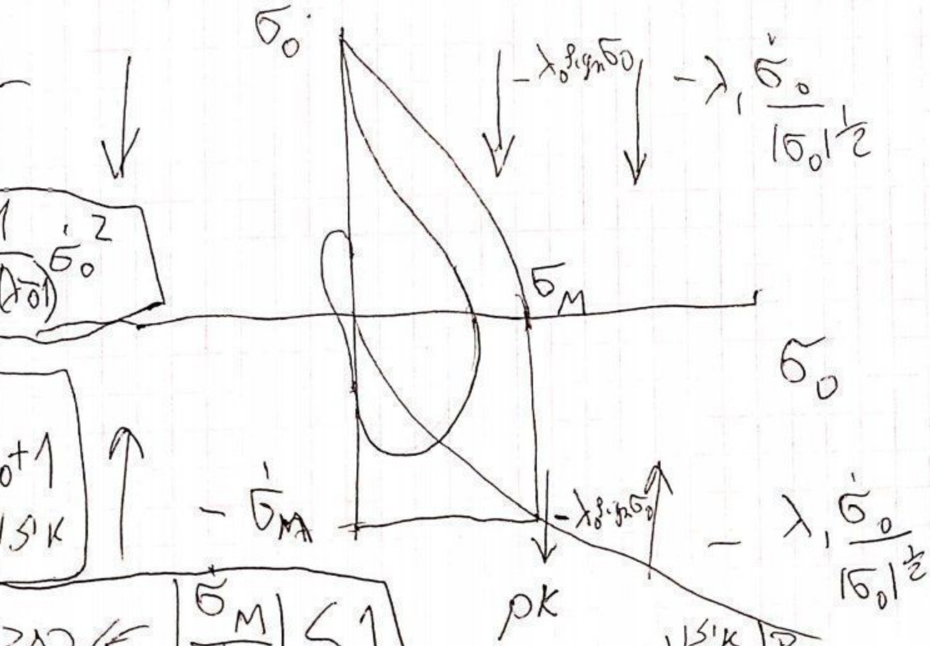
ומחלקים ב-L, מסמנים $-\ddot f_0$, $-\dot f_0$

$\boxed{\begin{array}{l}\text{הומוגניות} \\ \deg t = 1 \\ \deg \sigma_0 = 2, \ \deg \sigma_1 = 1\end{array}}$

$$\begin{cases} \dot\sigma_0 = -\lambda_1 \lceil \sigma_0 \rfloor^{\frac{1}{2}} + \sigma_1 \\ \dot\sigma_1 \in -\lambda_0 \operatorname{sign}\sigma_0 + [-1, 1] \end{cases}, \quad \frac{\ddot f_0}{L} \in [-1, 1]$$

גוזרים

$$\ddot\sigma_0 \in -\frac{1}{2}\lambda_1 \frac{\dot\sigma_0}{|\sigma_0|^{\frac{1}{2}}} - \lambda_0 \operatorname{sign}\sigma_0 + [-1, 1]$$



$\boxed{\sigma_M = \frac{1}{2(\lambda_0 - 1)} \dot\sigma_0^2}$

$\boxed{\lambda_1 \frac{\dot\sigma_M}{\sigma_M^{\frac{1}{2}}} = \lambda_0 + 1 \quad \text{איזון}}$

$\boxed{\left|\frac{\dot\sigma_M}{\dot\sigma_0}\right| < 1 \Rightarrow \text{מתכנס ל-(0)}}$

מקבלים תנאי' אלגברי אחד על λ_0 גדול

שמבטיח את FTS. זה תנאי' גס מאוד. 123

כיום ידועים הרבה תנאים יותר טובים.

[illegible]: $\lambda_1 = 1.5$, $\lambda_0 = 1.1L$ טובים

דיוק: נניח שיש רעש

$$f(t) = f_0(t) + \eta(t) \qquad |\eta| \leq \varepsilon$$

מדיד לפי Lebesgue!

$$|\ddot{f}_0| \leq L$$

$$\sigma_0 = \frac{z_0 - f_0}{L}, \quad \sigma_1 = \frac{z_1 - \dot{f}_0}{L},$$

$$\cancel{\begin{cases} \dot{\sigma}_0 = -\lambda_1 \left[\sigma_0(t_k) - \frac{\eta(t_k)}{L}\right]^{\frac{1}{2}} + \sigma_1(t_k) \\ \dot{\sigma}_1 = -\lambda_0 \operatorname{sign}\left(\sigma_0 - \frac{\eta}{L}\right)\Big|_{t_k} - \frac{\ddot{f}_0}{L}\Big|_{t_k} \\ \dot{\sigma}_0 \in -\lambda_1 \left[\sigma_0(t-\tau[0,\tau]) + \frac{\varepsilon}{L}[-1,1]\right]^{\frac{1}{2}} + \sigma_1(t-\tau[0,\tau]) \\ \dot{\sigma}_1 \in -\lambda_0 \end{cases}}$$

$$\begin{cases} \dot{\sigma}_0 = -\lambda_1 \left[\sigma_0 - \frac{\eta}{L}\right]^{\frac{1}{2}} + \sigma_1 \\ \dot{\sigma}_1 = -\lambda_0 \operatorname{sign}\left(\sigma_0 - \frac{\eta}{L}\right) - \frac{\ddot{f}_0}{L} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{\sigma}_0 \in -\lambda_1 \left[\sigma_0 + \frac{\varepsilon}{L}[-1,1]\right]^{\frac{1}{2}} + \sigma_1 \\ \dot{\sigma}_1 \in -\lambda_0 \operatorname{sign}\left(\sigma_0 + \frac{\varepsilon}{L}[-1,1]\right)^{\frac{1}{2}} + [-1,1] \end{cases}$$

$$\rho = \left(\frac{\varepsilon}{L}\right)^{\frac{1}{2}} = \left\|\frac{\varepsilon}{L}, 0\right\|_h$$ לפי המשפט הדיוק הוא

$$|\sigma_0| = \left|\frac{z_0 - f_0}{L}\right| \leq \mu_0 \frac{\varepsilon}{L}, \quad |\sigma_1| = \left|\frac{z_1 - \dot{f}_0}{L}\right| \leq \mu_1 \left(\frac{\varepsilon}{L}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$|z_0 - f_0| \leq \mu_0 \varepsilon, \quad |z_1 - \dot{f}_0| \leq \mu_1 L^{\frac{1}{2}} \varepsilon^{\frac{1}{2}}$$

Output-Feedback Twisting Controller

$C \geq 0,\ 0 < K_m \leq K_M$

$\ddot{\sigma} \in [-C, C] + [K_m, K_M]\, u$ $\quad K_m(\alpha_1+\alpha_2) - C > K_M(\alpha_1 - \alpha_2) + C$

$\alpha_1 - \alpha_2 > C/K_m$

$u = -\alpha_1 \operatorname{sign} z_0 - \alpha_2 \operatorname{sign} z_1$

$\dot{z}_0 = -1.5 L^{\frac{1}{2}} [z_0 - \sigma]^{\frac{1}{2}} + z_1$

$\dot{z}_1 = -1.1 L [z_0 - \sigma]^0, \quad L > K_M(\alpha_1+\alpha_2) + C \geq |\ddot{\sigma}|$

כעבור זמן סופי $z_1 \equiv \dot{\sigma},\ z_0 \equiv \sigma$

כעבור עוד זמן מה, $\sigma \equiv \dot{\sigma} \equiv 0$

⇐ יציבות ס"א

המערכת כולה הומוגנית

$\deg t = 1,\ \deg \sigma = \deg z_0 = 2,\ \deg \dot{\sigma} = \deg z_1 = 1$

אם σ נמדד עם רעש $|\eta| \leq \varepsilon$

נמדד במקום σ ב- $\sigma + [-\varepsilon, \varepsilon]$

ונקבל אחרי זמן סופי

$|\sigma| \leq \mu_0 \varepsilon,\ |\dot{\sigma}| \leq \mu_1 \varepsilon^{\frac{1}{2}},\ |z_0| \leq \mu_2 \varepsilon,\ |z_1| \leq \mu_3 \varepsilon^{\frac{1}{2}}$

<u>מימוש:</u> $\sigma, \dot{\sigma}$ - חיים "במציאות" בזמן רציף

u מחושב ע"י מחשב ונשאר קבוע בין t_k ל- t_{k+1}, $t_{k+1} - t_k = \tau_k$, $\tau_k \leq \tau$

מדגמים

$\ddot{\sigma} \in [-C, C] + [K_m, K_M]\, u$

$u = -\alpha_1 \operatorname{sign} z_0(t_k) - \alpha_2 \operatorname{sign} z_1(t_k), \quad t \in [t_k, t_{k+1})$

$z_0(t_{k+1}) = z_0(t_k) + \tau_k\left(-1.5 L^{\frac{1}{2}} [z_0(t_k) - \sigma(t_k)]^{\frac{1}{2}} + z_1(t_k)\right)$

$z_1(t_{k+1}) = z_1(t_k) - \tau_k \cdot 1.1 L \operatorname{sign}(z_0(t_k) - \sigma(t_k))$

דיוק: $|\sigma| \leq \mu_0 \rho^2,\ |\dot{\sigma}| \leq \mu_1 \rho,\ |z_0| \leq \mu_2 \rho^2,\ |z_1| \leq \mu \rho$

$\rho = \max(\tau, \varepsilon^{\frac{1}{2}})$

<u>נראה את זה</u>

$$\begin{cases} \ddot{\sigma} \in [-C, C] + [K_m, K_M]\, u(z_0(t_k), z_1(t_k)) \\ 0 \le t_{k+1} - t_k = \tau_k \le \tau \quad , \quad t \in [t_k, t_{k+1}) \\ \text{מוסיפים ערכים של } z(t) \text{ בין } t_k \text{ ל- } t_{k+1} \\ \text{(אקסטרפולציה)} \\ \dot{z}(t) = -1.5 L^{\frac{1}{2}} [z_0(t_k) - \hat{\sigma}(t_k)]^{\frac{1}{2}} + z_1(t_k) \\ \dot{z}_1(t) = -1.1 L\, \mathrm{sign}(z_0(t_k) - \hat{\sigma}(t_k)) \end{cases}$$

הרעיון הוא $\tau_k = 0$ לכן צריך ש $t_k \to \infty$ $k \to \infty$

נגדיר ש $t_k \in t - \tau[0,1]$

קיבלנו

$$\begin{cases} \ddot{\sigma} \in [-C, C] + [K_m, K_M]\, u(z(t - \tau[0,1])) \\ \dot{z} \in D(z(t - \tau[0,1]) - \sigma(t - \tau[0,1]) + \varepsilon[-1,1]) \end{cases}$$

דיפר

לפי המשפט מקבלים שכעבור זמן סופי

$$\|(\sigma, \dot{\sigma}, z_0, z_1)\|_h \le \mu \rho, \quad \rho = \max(\tau^{\cancel{\frac{1}{p}}}, \varepsilon^{\frac{1}{2}})$$

כמשקל σ: $\deg \varepsilon = 2$, $\deg \tau = p = \deg t = 1$

$\exists t_1 > 0 : \forall t > t_1$ $\quad |\sigma| \le \mu_0 \rho^2, |\dot{\sigma}| \le \mu_1 \rho, |z_0| \le \mu_2 \rho^2, |z_1| \le \mu_3 \rho$

כל הזמן, לא רק בנקודות t_k

אפשר להוכיח (Kolmogorov 1939, Levant 2017, Yu)
שהדיוק ~~...~~ לא גבוה
לא טוב מ

$$\sup_{f_0, L}\sup_t |z_0 - f_0| \geq L\varepsilon, \quad \sup_{f_0, L}\sup_t |z_1 - \dot f_0| \geq 2L^{\frac{1}{2}}\varepsilon^{\frac{1}{2}}$$

$\mu_0 \geq 1$,

$\mu_1 \geq 2$

גזירה נומרית

מימוש הבקר דורש גזירה נומרית
למשל לפי Euler;

$$t_{k+1} - t_k = \tau_k$$

$$z_0(t_{k+1}) = z_0(t_k) - \lambda_1 \tau_k L^{\frac{1}{2}}\left[z_0(t_k) - f(t_k)\right]^{\frac{1}{2}} + \tau_k z_1(t_k)$$

$$z_1(t_{k+1}) = z_1(t_k) - \lambda_0 \tau_k L \operatorname{sign}\left[z_0(t_k) - f(t_k)\right]$$

מחסרים שני הצדדים

Taylor:

$$f_0(t_{k+1}) \in f_0(t_k) + \dot f_0(t_k)\tau_k + L\frac{\tau_k^2}{2}[-1,1]$$

$$\dot f_0(t_{k+1}) \in \dot f_0(t_k) + L\tau_k[-1,1]$$

מחלקים ב L ומקבלים

$$\sigma_0(t_{k+1}) \in \sigma_0(t_k) + \left(-\lambda_1\left[\sigma_0(t_k) + \frac{\varepsilon}{L}[-1,1]\right]^{\frac{1}{2}} + \sigma_1(t_k)\right)\tau_k + \frac{\tau_k^2}{2}[-1,1]$$

$$\sigma_1(t_{k+1}) \in \sigma_1(t_k) + \left(-\lambda_0 \operatorname{sign}\left(\sigma_0(t_k) + \frac{\varepsilon}{L}[-1,1]\right)\right)\tau_k + \tau_k[-1,1]$$

מבצעים אינטרפולציה ליניארית ב $[t_k, t_{k+1}]$
ומקבלים

$$\begin{cases} \dot\sigma_0(t) \in -\lambda_1 \left[\sigma_0(t_k)+\frac{\varepsilon}{L}[-1,1]\right]^{\frac{1}{2}} + \sigma_1(t_k) + \frac{\tau}{2}[-1,1] \\ \dot\sigma_1(t) \in -\lambda_0 \operatorname{sign}\left(\sigma_0(t_k)+\frac{\varepsilon}{L}[-1,1]\right) + [-1,1] \end{cases}$$

$\tau_k \le \tau$

$t \in [t_k, t_k+\tau_k)$

בצעד אחרון!

לכן $t_k \in [t-\tau, t]$

$$\begin{cases} \dot\sigma_0 \in -\lambda_1 \left[\sigma_0(t-\tau[0,1]) + \frac{\varepsilon}{L}[-1,1]\right]^{\frac{1}{2}} + \sigma_1(t-\tau[0,1]) + \frac{\tau}{2}[-1,1] \\ \dot\sigma_1 \in -\lambda_0 \operatorname{sign}\left(\sigma_0(t-\tau[0,1]) + \frac{\varepsilon}{L}[-1,1]\right) + [-1,1] \end{cases}$$

$$\boxed{\rho = \max\left(\tau, \left(\frac{\varepsilon}{L}\right)^{\frac{1}{2}}\right)}$$

לפי הומוג'

$\deg\tau = 1,\ \deg\varepsilon = 2$

$$|\sigma_0| \le \mu_0\rho^2 = \mu_0 \max\left(\tau^2, \frac{\varepsilon}{L}\right)$$

$$|\sigma_1| \le \mu_1\rho = \mu_1 \max\left(\tau, \left(\frac{\varepsilon}{L}\right)^{\frac{1}{2}}\right)$$

$\forall t$ מספיק גדול

$$|z_0(t)-f_0(t)| \le \mu_0 L \rho^2$$

$$|z_1(t)-\dot f_0(t)| \le \mu_1 L \rho$$

החישוב הזה, נכון רק לצורך מסדר 1
מקרה כללי
בשבוע הבא.

בניית בקר SISO לדרגת הומוגניות כללי

$$\dot{x} = a(t,x)+b(t,x)u \;,\; \sigma(t,x)$$
כלל

הידוע: $\sigma \to 0$, ונניח הסדר היחסי r RD

$$\sigma^{(r)} = h(t,x)+g(t,x)u \;,\; g \neq 0$$
לא מתאפס

נסמן
$$\vec{\sigma}_{r-1} = (\sigma, \dot{\sigma}, \dots, \sigma^{(r-1)})$$

נניח כאשר לרשום

$$\sigma^{(r)} \in H(\vec{\sigma}_{r-1}) + G(\vec{\sigma}_{r-1})u \;,\; H,G \subset T_{\vec{\sigma}_{r-1}}\mathbb{R}$$
Filippov vector-set functions

$$h(t,x) \in H(\vec{\sigma}_{r-1}(t,x)) \;,\; g(t,x) \in G(\vec{\sigma}_{r-1}(t,x))$$

נבחר $u = u(\vec{\sigma}_{r-1})$

אז מקבלים

$$\sigma^{(r)} \in H(\vec{\sigma}_{r-1}) + G(\vec{\sigma}_{r-1})K_F[u](\vec{\sigma}_{r-1})$$

שבו הכלה Filippov

אלה קבוצות חצי-מינימליות, לכן H, G - קרים

נניח שההכלה הומוגנית, כמו u

$$q = -p = -\deg t \;,\; \deg\sigma = 1 \;,\; \deg\sigma^{(i)} = 1+iq = 1-i\deg t$$

$$\deg\sigma^{(r)} = 1+rq \geq 0 \quad \left(\text{אחרת לא הומוגני, ב-0.}\right)$$

כלומר $\|\vec{\sigma}\|_h$

מהומוגניות מקבלים

$$H(\vec{\sigma}_{r-1}) \subset [-C, C]\,\|\vec{\sigma}_{r-1}\|_h^{1+rq}$$

$$G(\vec{\sigma}_{r-1})K_F[u](\vec{\sigma}_{r-1}) = \underbrace{[K_m, K_M]\,K_F\left[\frac{u}{\|\vec{\sigma}\|_h^{\deg u}}\right]}_{\deg = 0}\|\vec{\sigma}_{r-1}\|_h^{1+rq}$$

$$0 < K_m \leq K_M \;,\; C \geq 0$$

אז ברור שמספיק לקחת מקרה,

$$\sigma^{(r)} \in [-C, C]\|\vec{\sigma}_{r-1}\|_h^{1+rq} + [K_m, K_M]\, u(\vec{\sigma}_{r-1})$$

$\deg u = 1+rq$ (לא רואים $K_F[u]$ בפרגרניק)

הערה, לכל פונקציה $\deg \varphi = k$

$$\varphi(\vec{\sigma}_{r-1}) = \frac{\varphi(\vec{\sigma}_{r-1})}{\|\vec{\sigma}_{r-1}\|_h^k}\|\vec{\sigma}_{r-1}\|_h^k$$

0 : homogeneous $= \tilde{\varphi}(\vec{\sigma}_{r-1})$

אם φ חסומה לוקלית, $k>0 \Rightarrow \varphi(0)=0$, $\tilde{\varphi}$ חסומה גלובלית

$k=0 \Rightarrow \varphi$ חסומה גלובלית

$\varphi \in C(\mathbb{R}^r \setminus \{0\}) \Rightarrow \varphi$ quasi continuous

מקרה $r=1$

$$\dot{\sigma} \in [-C, C]|\sigma|^{1+q} + [K_m, K_M]\, u$$

הבקרה $u = -\alpha \operatorname{sign}\sigma\, |\sigma|^{1+q} = -\alpha[\sigma]^{1+q}$

$\alpha > C$

הרעיון | לבנות בקרה ל- RD r+1

| אם יודע בקרה ל RD r

תבניות Homogeneous Control Templates

בפרט $\dot{\sigma} + \beta_0[\sigma]^{1+q} = 0$ AS $\forall q \geq -1$

$\beta_0 > 0$

נניח $q \geq -\frac{1}{2}$ אז

$$\ddot{\sigma} + \beta_1\left[\dot{\sigma} + \beta_0[\sigma_0]^{1+q}\right]^{\frac{1+2q}{1+q}} = 0$$ AS גם

$$u = -\alpha\left[\dot{\sigma} + \beta_0[\sigma_0]^{1+q}\right]^{\frac{1+2q}{1+q}}$$

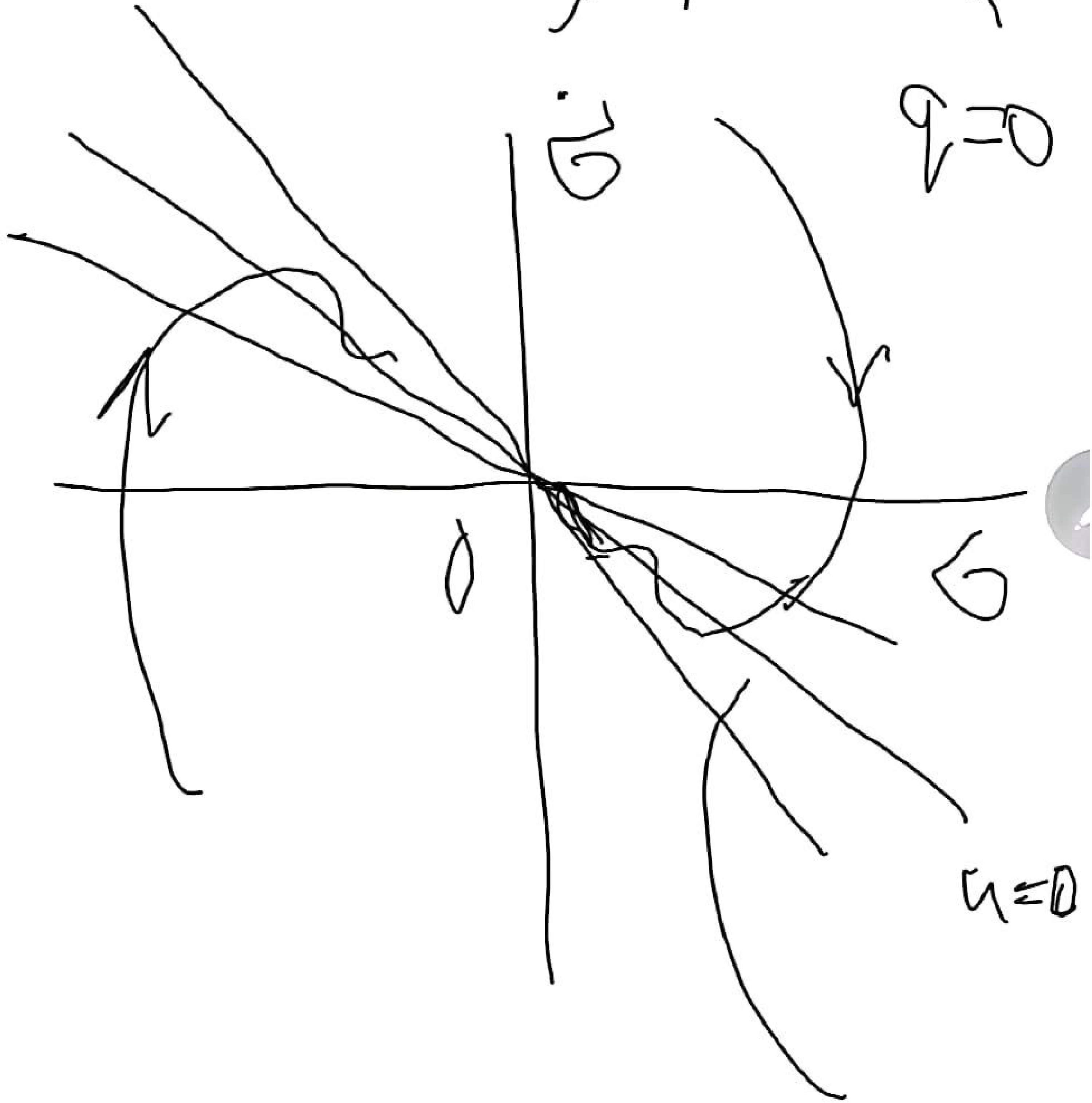
$$\ddot{\sigma} \in [-C, C]\|\vec{\sigma}_1\|_h^{1+2q} + [K_m, K_M]\, u$$

מוצב את

נעבור למקרה כללי

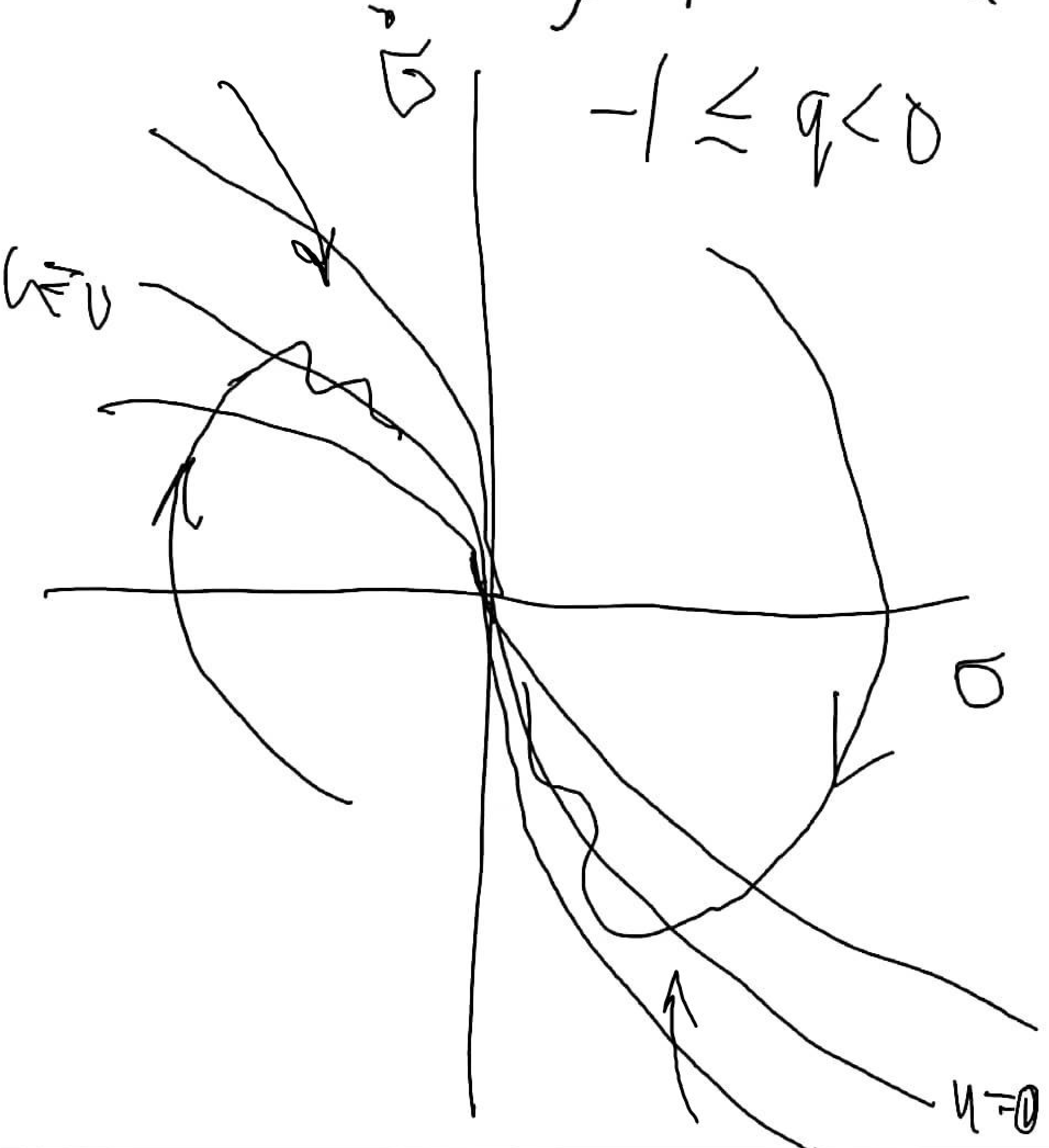
$$\ddot{\sigma} \in [-C, C] \|\sigma, \dot{\sigma}\|_h^{1+q} + [K_m, K_M] u$$

$$u = -\alpha \frac{\dot{\sigma} + \beta \lfloor \sigma \rceil^{1+q}}{|\dot{\sigma}| + \beta |\sigma|^{1+q}} \|\vec{\sigma}_1\|_h^{1+q}$$



$$\ddot{\sigma} \in [-C, C]\,\|\vec{\sigma}_1\|_h^{1+q} + [K_m, K_M]\,u$$

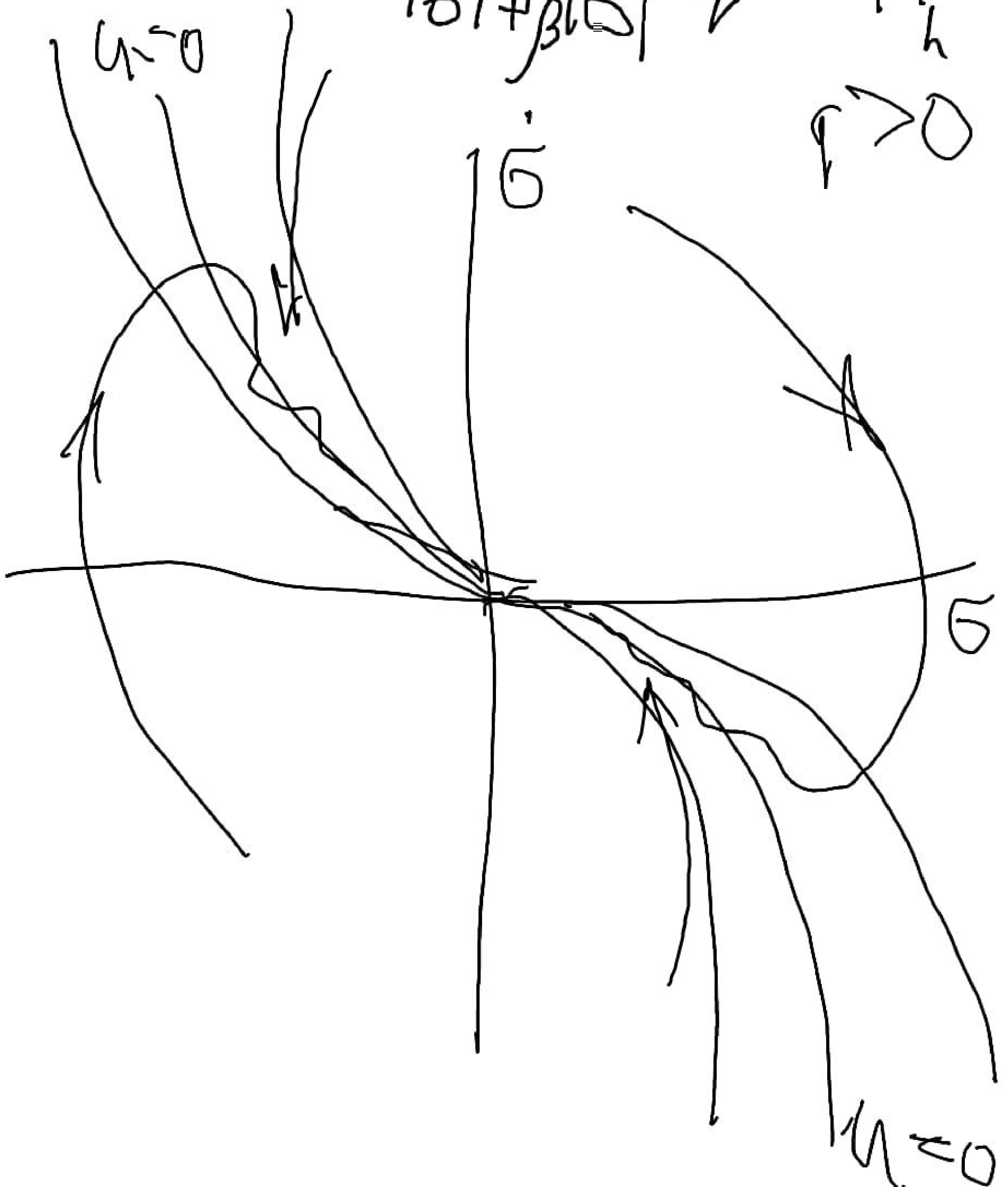
$$u = -\alpha \frac{\dot{\sigma} + \beta\lfloor\sigma\rceil^{1+q}}{|\dot{\sigma}| + \beta|\sigma|^{1+q}}\,\|\vec{\sigma}_1\|_h^{1+q}$$



$$\ddot{\sigma} \in [-C, C] \|\vec{\sigma}_1\|_h^{1+q} + [K_m, K_M] u$$

$$u = -\alpha \frac{\dot{\sigma} + \beta \lfloor \sigma \rceil^{1+q}}{|\dot{\sigma}| + \beta |\sigma|^{1+q}} \|\vec{\sigma}_1\|_h^{1+q}$$

$q > 0$



Homogeneous Control Templates

Recursion step נניח שהמערכת,

$$\sigma^{(r-1)}+\varphi_{r-1}(\vec\sigma_{r-2})=0$$

$\deg t=-q$, , AS-1 היא הומוגנית,

$\deg\sigma=1$, $\deg\sigma^{(i)}=1+iq$, $\boxed{1+(r-1)q\geq 0}$

(אנו רוצים לקבל שהמערכת: $\sigma^{(r)}_{tm}=0$)

נניח $\varphi_{r-1}\in C(\mathbb{R}^{r-1})$, $\deg\varphi_{r-1}=1+(r-1)q>0$,

---

~~הגדרה~~ הגדרה: $\theta_1,\theta_2:\mathbb{R}^n\to\mathbb{R}$ שקולות בסימן

Sign equivalent

אם לכל s: $\mathrm{sign}\,\theta_1(s)=\mathrm{sign}\,\theta_2(s)$

כאשר $\theta_1(s)\neq 0$ אז $\theta_2(s)\neq 0$.

(למעשה אין מגדירים $\mathrm{sign}\,0$)

משפט: נניח $q\geq -1/r$, $\|\cdot\|_h$ - נורמה הומוגנית, $\boxed{r\geq 2}$, $\Phi_r(\vec\sigma_{r-1})$ ו- $\sigma^{(r-1)}+\varphi_{r-1}(\vec\sigma_{r-2})$ הם sign-equivalent כאשר

(QC) quasi continuous $\Phi_r:\mathbb{R}^r\to\mathbb{R}$

$$\deg\Phi_r\geq 0$$

נבחר בקר $u=\alpha V_r(\vec\sigma_{r-1})$

בצורה,

(א) $V_r=-\|\vec\sigma_{r-1}\|_h^{1+qr-\deg\Phi_r}\,\Phi_r(\vec\sigma_{r-1})$ QC

או

(ב) $V_r=-\|\vec\sigma_{r-1}\|_h^{1+qr}\,\mathrm{sign}\,\Phi_r(\vec\sigma_{r-1})$ (continuous ל $q>-1/r$)

אז ל $\alpha>0$ מספיק גדול הבקר מייצב

$$\sigma^{(r)}\in[-C,C]\,\|\vec\sigma_{r-1}\|_h^{1+rq}+[K_m,K_M]\,u$$

כלומר AS $\sigma^{(r)}+\varphi_r(\vec\sigma_{r-1})=0$, $\varphi_r=\alpha V_r(\vec\sigma_{r-1})$

ו $\varphi_r\in C$ ל $q>-1/r$