第 15 卷第 6 期
1998 年 12 月

控制理论与应用
CONTROL THEORY AND APPLICATIONS

Vol. 15, No. 6
Dec., 1998

一类时变非线性控制系统的绝对稳定性

杨 斌 潘德惠
(东北大学信息科学与工程学院·沈阳,110006)

摘要：用“二次型加积分项”形式的 Lyapunov 函数研究一类时变非线性控制系统的绝对稳定性，给出了系统绝对稳定的充分条件以及时变系数导数界限的估计，明显地优于[1]中的结果.

关键词：控制系统；Lyapunov 函数；绝对稳定性

1 引 言

本文研究时变非线性控制系统：

$$\dot{x} = Ax - bg(t,\sigma), \quad \sigma = c^{\mathrm{T}}x - \rho g(t,\sigma), \quad g(t,\sigma) = k(t)f(\sigma) \tag{1.1}$$

的绝对稳定性. 这里 A 是 $n \times n$ 阶稳定矩阵，x, b, c 是 n 维向量，不失一般性，我们假设 $c^{\mathrm{T}} = (1, 0, \cdots, 0)$，$f(\sigma)$ 是满足条件 $0 \leqslant \sigma f(\sigma) \leqslant F\sigma^2 (F < +\infty)$ 的连续函数，$g(t,\sigma)$ 是满足条件 $g(t,\sigma) = k(t)f(\sigma)$ 且 $0 \leqslant \sigma g(t,\sigma) \leqslant G\sigma^2 (G < +\infty)$ 的连续函数，用 A_G 表示这类函数组成的集合. 在研究时变非线性控制系统时，一般都用二次型的 Lyapunov 函数，得出圆频率准则. 在[1]中作者采用了形如：

$$V(t,x) = \frac{1}{2}x^{\mathrm{T}}Px + \beta k(t)\int_0^{\sigma} f(\sigma)\mathrm{d}\sigma + \frac{1}{2}\beta\rho g^2(t,\sigma) \tag{1.2}$$

的 Lyapunov 函数来研究系统(1.1)的绝对稳定性. 用 S-手续的方法给出了绝对稳定的频率形式的充分条件. 减弱了圆频率准则的条件，扩大了稳定性区域((1.2)式中的 $P = P^{\mathrm{T}}$ 是矩阵方程 $A^{\mathrm{T}}P + PA = -2W$ 的唯一解，而 $W = W^{\mathrm{T}}$ 是某一给定矩阵，$\beta \geqslant 0, \rho \geqslant 0, k(t)$ 是 t 的连续可导函数). 但它的结果要求

$$k'(t) \leqslant (r_0/\beta)\Phi k(t)[1 - k(t)/K]. \tag{1.3}$$

其中：$\varphi(\sigma) = [\sigma f(\sigma)/\int_0^{\sigma} f(\sigma)\mathrm{d}\sigma] \geqslant \Phi = \min\limits_{\sigma}\{\varphi(\sigma)\} \geqslant 0, K = G/F, r_0$ 表示 S-手续中的常数(见引理 4). 一般说来，Φ 是很难确定的. 另外这个结果还要求 $k(t)$ 满足微分不等式(1.3)，这样对 $k(t)$ 的限制也太强. 此结果要求知道的信息太强，不便于应用. 目前在实际应用中仍采用圆频率准则[2].

本文用同样形式的 Lyapunov 函数，运用直接估计的方法来研究系统(1.1)的绝对稳定性，得到系统绝对稳定的充分条件，它只要求 $k'(t)$ 小于某个常数，因而便于应用. 并且如果[1]中所需的信息都能得到，本文又给出另一个明显优于[1]中的结果.

2 主要结果

将 W 写成：

$$W = \begin{array}{c} \begin{bmatrix} W_{11} & w_{12}^{\mathrm{T}} \\ W_{12} & W_{22} \end{bmatrix} \begin{array}{l} 1 \\ n-1 \end{array} \\ \begin{array}{cc} 1 & \quad n-1 \end{array} \end{array}$$

本文于 1996 年 6 月 7 日收到. 1997 年 11 月 3 日收到修改稿.

我们有如下结果：

定理 1 若存在形如(1.2)式的函数 $V(t,x)$，使得

1) $1/G > (-n+\sqrt{\Delta})/q$,

2) $\sup\limits_{t\geqslant t_0} k'(t) < \dfrac{2}{\beta F(\det S)}\min[q, mG^2+2nG+q]$,

则系统(1.1)绝对稳定.

其中 $U=\dfrac{1}{2}(Pb-\beta A^{\mathrm T}c)$, $U^{\mathrm T}=(u_1,U_2^{\mathrm T})$, $a=\beta c^{\mathrm T}b+2\rho u_1+\rho^2 w_{11}$,

$$d=u_1+\rho w_{11},\ \delta=U_2+\rho W_{12},\ S=W_{22},\ \Delta=n^2-mq,$$

$$R=\begin{bmatrix} a & d & \delta^{\mathrm T} \\ d & w_{11} & W_{12}^{\mathrm T} \\ \delta & W_{12} & W_{22}\end{bmatrix},\ m=\det R\begin{pmatrix}2\\2\end{pmatrix},\ n=\det R\begin{pmatrix}1\\2\end{pmatrix},\ q=\det R\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix}.$$

注 用 $T\begin{pmatrix}i\\j\end{pmatrix}$ 表示从矩阵 T 中去掉第 i 行和第 j 列后得到的子矩阵.

在证明定理 1 之前，先证以下的引理.

引理 1 设 φ 是 $r\times r$ 阶非异对称矩阵，θ,ξ 分别是 r 维列向量，$t,\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3$ 为实数.

$$H(t)=\begin{bmatrix}\alpha_1t^2+2\alpha_2t+\alpha_3 & t\xi^{\mathrm T}+\theta^{\mathrm T} \\ t\xi+\theta & \varphi\end{bmatrix},\quad I=\begin{bmatrix}\alpha_1 & \alpha_2 & \xi^{\mathrm T} \\ \alpha_2 & \cdots & \vdots \\ \xi & \cdots & H(0)\end{bmatrix}.$$

则
$$\det H=t^2\det I\begin{pmatrix}2\\2\end{pmatrix}+2t\det I\begin{pmatrix}1\\2\end{pmatrix}+\det I\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix},$$

$$\Delta_0=\left[\det I\begin{pmatrix}1\\2\end{pmatrix}\right]^2-\left[\det I\begin{pmatrix}2\\2\end{pmatrix}\right]\left[\det I\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix}\right]=-(\det H)(\det\varphi).$$

证
$$\begin{aligned}\det H&=(\det\varphi)[\alpha_1t^2+2\alpha_2t+\alpha_3-(t\xi^{\mathrm T}+\theta^{\mathrm T})\varphi^{-1}(t\xi+\theta)]\\&=t^2\det I\begin{pmatrix}2\\2\end{pmatrix}+2t\det I\begin{pmatrix}1\\2\end{pmatrix}+\det I\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix},\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_0&=(\det\varphi)^2[(\alpha_2-\xi^{\mathrm T}\varphi^{-1}\theta)^2-(\alpha_1-\xi^{\mathrm T}\varphi^{-1}\xi)(\alpha_3-\theta^{\mathrm T}\varphi^{-1}\theta)]\\&=-(\det H)(\det\varphi).\end{aligned}$$

引理 2

$$\det\begin{bmatrix}\beta c^{\mathrm T}b & U^{\mathrm T} \\ U & W\end{bmatrix}\leqslant 0.$$

证 考虑系数矩阵为零的定常线性系统：

$$\dot x=Ax-b\sigma,\quad \dot\sigma=c^{\mathrm T}Ax-c^{\mathrm T}b\sigma$$

以及正定二次型：

$$V(x,\sigma)=\frac{1}{2}x^{\mathrm T}Px+\frac{\beta}{2}\sigma^2.$$

因为系统的零解不是渐近稳定的，所以

$$\dot V=-x^{\mathrm T}Wx-2x^{\mathrm T}U\sigma-\beta c^{\mathrm T}b\sigma^2$$

不是负定二次型，又因为 $W>0$，故引理成立.

引理 3 $\det R\leqslant 0.$

证 由简单的计算，并注意到引理 2 可得：

$$\det R = \det\begin{bmatrix}\beta c^{\mathrm{T}}b & U^{\mathrm{T}} \\ U & W\end{bmatrix} \leqslant 0.$$

有了以上的引理，下面我们证明定理 1.

证 计算得

$$-\dot{V}\mid_{(1.1)} = x^{\mathrm{T}}Wx + 2x^{\mathrm{T}}Ug + \beta c^{\mathrm{T}}bg^2 - \beta k'(t)\int_0^{\sigma} f(\sigma)\mathrm{d}\sigma.$$

记 $$x^{\mathrm{T}} = (x_1, \bar{x}^{\mathrm{T}}), \quad \forall\, g(t,\sigma) \in A_G, \quad \forall\, x \neq 0,$$

令 $$L(t,\sigma) = \begin{cases} 0, & \sigma = 0, \\ g/\sigma, & \sigma \neq 0, \end{cases}$$

$$-\dot{V}\mid_{(1.1)} \geqslant \begin{cases} \lambda_{\min} Q(L)(\sigma^2 + \|\bar{x}\|), & k'(t) \leqslant 0, \\ \lambda_{\min} \overline{Q}(L)(\sigma^2 + \|\bar{x}\|), & k'(t) > 0. \end{cases}$$

其中

$$Q(L) = \begin{bmatrix} aL^2 + 2dL + w_{11} & L\delta^{\mathrm{T}} + W_{12}^{\mathrm{T}} \\ L\delta + W_{12} & S \end{bmatrix},$$

$$\overline{Q}(L) = Q(L) - \begin{bmatrix} \frac{1}{2}\beta hF & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad h = \sup_{t \geqslant t_0} k'(t).$$

由引理 1 可得，$\det Q(L) = mL^2 + 2nL + q$，$\Delta = n^2 - mq = -(\det R)(\det S)$. 由引理 2 可知，$\det R \leqslant 0$. 又因为 $\det S > 0$，所以 $\Delta \geqslant 0$. 当 $L = 0$ 时，$Q(L) = W > 0$，当 $L \in (0, G]$ 时，有 $1/L \geqslant 1/G$，由定理 1 条件 $1/G > (-n + \sqrt{\Delta})/q$ 成立，则有 $1/L \geqslant 1/G > (-n + \sqrt{\Delta})/q$ 成立，故 $\det Q(L) > 0$. 又因为 $Q(L)\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix} = S > 0$，所以 $Q(L) > 0, L \in [0, G]$. 则 $\lambda_{\min} Q(L) > 0$，$\min\limits_{L \in [0,G]} \lambda_{\min} Q(L) \triangleq \delta_1 > 0$. 当 $k'(t) \leqslant 0$ 时，就有 $-\dot{V}\mid_{(1.1)} \geqslant \delta_1(\sigma^2 + \|\bar{x}\|) > 0$.

由引理 1 可得

$$\det\overline{Q}(L) = mL^2 + 2nL + q - \frac{1}{2}\beta hF(\det S).$$

下证 $\forall\, L \in [0, G]$，$\det\overline{Q}(L) > 0$. 若不然，则存在一点 $\alpha \in [0, G]$，使得 $\det\overline{Q}(\alpha) \leqslant 0$. 即 $m\alpha^2 + 2n\alpha + q \leqslant \frac{1}{2}\beta hF(\det S) < \min[q, mG^2 + 2nG + q]$.

由上式可知，对二次函数 $y(L) = mL^2 + 2nL + q$ 存在 $\alpha \in [0, G]$ 使得 $y(0) > y(\alpha)$，$y(\alpha) < y(G)$，故 $y(L)$ 在 $[0, G]$ 先下降，后上升，因而在 $[0, G]$ 必存在极小值点 e，根据二次函数性质知此极小值点也是该函数在整个实轴的最小值点. 即有 $mL^2 + 2nL + q \geqslant me^2 + 2ne + q, \forall\, L \in \mathbb{R}$. 再有 $L \in [0, G]$ 时，$mL^2 + 2nL + q > 0$，所以 $me^2 + 2ne + q > 0$. 于是 $mL^2 + 2nL + q > 0, \forall\, L \in \mathbb{R}$. 即方程 $mL^2 + 2nL + q = 0$ 没有实根，这与 $\Delta \geqslant 0$ 矛盾. 故对 $\forall\, L \in [0, G]$，$\det\overline{Q}(L) > 0$. 又因为 $\overline{Q}(L)\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix} = S > 0$，则 $\overline{Q}(L) > 0$. 就有 $\lambda_{\min}\overline{Q}(L) > 0$，$\min\limits_{L \in [0,G]} \lambda_{\min}\overline{Q}(L) \triangleq \delta_2 > 0$. 当 $k'(t) > 0$ 时，就有 $-\dot{V}\mid_{(1.1)} \geqslant \delta_2(\sigma^2 + \|\bar{x}\|) > 0$.

令 $\delta_3 = \min(\delta_1, \delta_2)$，$\|y\| = (\sigma^2 + \|\bar{x}\|)$. 则 $-\dot{V}\mid_{(1.1)} \geqslant \delta_3\|y\| > 0$. 定理得证.

下面我们通过一个例子来比较一下这两个结果，考虑二阶时变非线性控制系统：

$$\dot{x}_1 = -2x_1 + g(t,\sigma), \quad \dot{x}_2 = x_1 - x_2 + 2g(t,\sigma),$$
$$\sigma = x_1 - g(t,\sigma), \quad g(t,\sigma) = k(t)f(\sigma).$$

取定的 Lyapunov 函数为

$$V(t,x) = x_1^2 + x_2^2 + k(t)\int_0^\sigma f(\sigma)\mathrm{d}\sigma + \frac{1}{2}g^2(t,\sigma),$$

计算得: $R = \begin{bmatrix} 3 & 4 & -3 \\ 4 & 4 & -1 \\ -3 & -1 & 2 \end{bmatrix}$, $m = -3$, $n = 5$, $q = 7$, $\Delta_0 = 46$.

由定理 1 可知,存在形如(2.2)式的函数 $V(t,x)$,使得

1) $1/G > (-5 + \sqrt{46})/7$,

2) $\sup\limits_{t\geqslant t_0} k'(t) < \frac{1}{F}\min[7, -3G^2 + 10G + 7]$

成立,则系统(2.1) 绝对稳定,特别当 $G = 2$ 时,$\sup\limits_{t\geqslant t_0} k'(t) < 7/F$,则系统(2.1) 的绝对

采用文献[1]中的方法,当$G = 2$时,所得的结果为:$k'(t) \leqslant r_0\Phi k(t)[1 - Fk(t)/2]$,其

$\sqrt{105})/2 < r_0 < (17 + \sqrt{105})/2$(它是由引理4的条件求出的). 由此可见,本文的结

$k'(t)$ 的上界小于 $7/F$,很容易应用. 而[1] 的结果对 $k(t)$ 所需的信息太多,很难应用.

如果[1]的结果所需的信息量都能得到,我们用以下方法,给出另一个优于[1]中

由 S-手续在有限扇形角内的无亏损性,我们可得如下引理.

引理 4 若存在形如(1.2)式的函数 $V(t,x)$ 使得 $1/G > (-n + \sqrt{\Delta})/q$ 成立,

在 $r_0 > 0$,使得 $x^{\mathrm{T}}Wx + 2x^{\mathrm{T}}Ug + \beta c^{\mathrm{T}}bg^2 - r_0 g(\sigma - g/G) > 0, \forall\ (|x| + |g|) \neq$

证 当 $g(\sigma - g/G) \geqslant 0$ 成立时,有 $0 \leqslant \sigma g \leqslant G\sigma^2$,即 $g \in A_G$. 此时,仿定理 1 的

$$x^{\mathrm{T}}Wx + 2x^{\mathrm{T}}Ug + \beta c^{\mathrm{T}}bg^2 = \begin{bmatrix} \sigma \\ \bar{x} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}} Q(L) \begin{bmatrix} \sigma \\ \bar{x} \end{bmatrix} > 0.$$

于是由[8]的定理 1.7.3(关于 S-手续无亏损性定理)可得引理之结论.

有了这个引理,我们有以下结果.

定理 2 若存在形如(1.2)式的函数 $V(t,x)$,使得

1) $1/G > (-n + \sqrt{\Delta})/q$,

2) $\sup\limits_{t\geqslant t_0}[k'(t) - h(t)] < \bar{h}$,

成立,则系统(1.1) 绝对稳定.

其中,G,n,Δ,q 同定理 1,r_0 为引理 4 中满足条件的 r_0.

$h(t) = (r_0/\beta)\Phi k(t)[1 - k(t)/K]$, $\overline{U} = \frac{1}{2}(Pb - \beta A^{\mathrm{T}}c - r_0 c)$, $\overline{U}^{\mathrm{T}} = (\bar{u}_1, \overline{U}_2^{\mathrm{T}})$

$\bar{a} = \beta c^{\mathrm{T}}b + r_0\rho + r_0/G + 2\rho\bar{u}_1 + \rho^2 w_{11}$, $\bar{d} = \bar{u}_1 + \rho w_{11}$, $\bar{\delta} = \overline{U}_2 + \rho W_{12}$, $S =$

$\overline{R} = \begin{bmatrix} \bar{a} & \bar{d} & \bar{\delta}^{\mathrm{T}} \\ \bar{d} & w_{11} & W_{12}^{\mathrm{T}} \\ \bar{\delta} & W_{12} & W_{22} \end{bmatrix}$, $\bar{m} = \det\overline{R}\begin{pmatrix} 2 \\ 2 \end{pmatrix}$, $\bar{n} = \det\overline{R}\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$, $\bar{q} = \det\overline{R}\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$,

$\Delta_1 = \bar{n}^2 - \bar{m}\,\bar{q}$, $\bar{h}_0 = \dfrac{2}{\beta F(\det S)}$,

$$\bar{h}=\begin{cases}\bar{h}_0\bar{q}, & \bar{n}\geqslant 0,\\ (-\bar{h}_0\Delta_1)/\bar{m}, & \bar{n}<0,\ G>-\bar{n}/\bar{m},\\ \bar{h}_0(\bar{m}G^2+2\bar{n}G+\bar{q}), & \bar{n}<0,\ G\leqslant-\bar{n}/\bar{m}.\end{cases}$$

注　这里 $\bar{h}>0$,故定理 2 的结果优于[1]中的结果.

在证明定理 2 之前,先证以下引理.

引理 5　当 $1/G>(-n+\sqrt{\Delta})/q$ 时,$\det\bar{R}>0$.

证　由简单的计算,并注意到引理 4 可得:

$$\det\bar{R}=\det\begin{bmatrix}\beta c^{\mathrm{T}}b+r_0\rho+r_0/G & \bar{U}^{\mathrm{T}}\\ \bar{U} & W\end{bmatrix}>0.$$

引理 6　$$r_0g(\sigma-g/G)-\beta h(t)\int_0^{\sigma}f(\sigma)\mathrm{d}\sigma\geqslant 0.$$

证　当 $\sigma=0$ 时,结论显然成立.当 $\sigma\neq 0$ 时,

$$\begin{aligned}&r_0g(\sigma-g/G)-\beta h(t)\int_0^{\sigma}f(\sigma)\mathrm{d}\sigma\\ &\geqslant r_0\Phi\int_0^{\sigma}f(\sigma)\mathrm{d}\sigma[k(t)-Fk^2(t)/G]-r_0\Phi k(t)[1-k(t)/K]\int_0^{\sigma}f(\sigma)\mathrm{d}\sigma\geqslant 0.\end{aligned}$$

下面我们证明定理 2.

令 $k_1'(t)=k'(t)-h(t)$,由引理 6 可知 $r_0g(\sigma-g/G)-\beta h(t)\int_0^{\sigma}f(\sigma)\mathrm{d}\sigma\geqslant 0$.

可得

$$-\dot{V}\mid_{(1.1)}\geqslant\begin{bmatrix}g\\ x\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\begin{bmatrix}\beta c^{\mathrm{T}}b+r_0\rho+r_0/G & \bar{U}^{\mathrm{T}}\\ \bar{U} & W\end{bmatrix}\begin{bmatrix}g\\ x\end{bmatrix}-\beta k_1'(t)\int_0^{\sigma}f(\sigma)\mathrm{d}\sigma.$$

同定理 1 的证明,可得

$$-\dot{V}\mid_{(1.1)}\geqslant\begin{cases}\lambda_{\min}Q_1(L)(\sigma^2+\|\bar{x}\|), & k'(t)\leqslant 0,\\ \lambda_{\min}\bar{Q}_1(L)(\sigma^2+\|\bar{x}\|), & k'(t)>0.\end{cases}$$

其中

$$Q_1(L)=\begin{bmatrix}\bar{a}L^2+2\bar{d}L+w_{11} & L\bar{\delta}^{\mathrm{T}}+W_{12}^{\mathrm{T}}\\ L\bar{\delta}+W_{12} & S\end{bmatrix},$$

$$\bar{Q}_1(L)=Q_1(L)-\begin{bmatrix}\frac{1}{2}\beta h_1F & 0\\ 0 & 0\end{bmatrix},\ h_1=\sup_{t\geqslant t_0}k_1'(t).$$

由引理 1 可得 $\det\bar{Q}_1(L)=\bar{m}L^2+2\bar{n}L+\bar{q}$,$\Delta_1=\bar{n}^2-\bar{m}\,\bar{q}=-(\det\bar{R})(\det S)$.因为 $\det\bar{R}>0$,$\det S>0$,所以 $\Delta_1<0$,而 $\Delta_1=\bar{n}^2-\bar{m}\,\bar{q}$,又因为 $\bar{q}=\det W>0$,故 $\bar{m}>0$.因此 $\det Q_1(L)>0$,$L\in[0,G]$.又因为 $Q_1(L)\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix}=S>0$,所以 $Q_1(L)>0$,$L\in[0,G]$.则 $\lambda_{\min}Q_1(L)>0$,$\min\limits_{L\in[0,G]}\lambda_{\min}Q_1(L)\triangleq\tau_1>0$.当 $k_1'(t)\leqslant 0$ 时,就有 $-\dot{V}\mid_{(1.1)}\geqslant\tau_1(\sigma^2+\|\bar{x}\|)>0$.

由引理 1 可得　$\det\bar{Q}_1(L)=\bar{m}L^2+2\bar{n}L+\bar{q}-\frac{1}{2}\beta h_1F(\det S)$.

下证　$\forall L\in[0,G]$,$\det\bar{Q}_1(L)>0$.

事实上由定理 2 的条件 2) 成立,可得 $\det\bar{Q}_1(L)\geqslant\bar{m}L^2+2\bar{n}L+\bar{q}-\frac{1}{2}\beta\bar{h}F(\mathrm{des}S)>0$.

因为 $\overline{Q}_1(L)\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix}=S>0$,则 $\overline{Q}_1(L)>0$,就有 $\lambda_{\min}\overline{Q}(L)>0$, $\min\limits_{L\in[0,G]}\lambda_{\min}\overline{Q}_1(L)\triangleq\tau_2>0$. 当
>0 时,就有 $-\dot{V}\mid_{(1,1)}\geqslant\tau_2(\sigma^2+\|\overline{x}\|>0$.

令 $\tau_3=\min(\tau_1,\tau_2)$, $\|y\|=(\sigma^2+\|\overline{x}\|)$. 则 $-\dot{V}\mid_{(1,1)}\geqslant\tau_3\|y\|>0$. 定理得

参考文献

1 Narendre, K. S. and Taylor, J. H.. Frequency Domain Critera for Absolute Stability. New York: Academic, 1973

2 Kerbelev, A. M.. Circle criterion of robust stability and instability of nonstationary nonlinear systems. Automat mekh, 1993, (12): 111—115

3 赵素霞. 多个执行机构的控制系统的绝对稳定性. 中国科学 A 辑, 1987, (8): 785—792

4 谢惠民. 绝对稳定性理论与应用. 北京: 科学出版社, 1986

5 秦元勋, 王联, 王慕秋. 运动稳定性理论及其应用. 北京: 科学出版社, 1980

6 列托夫. 非线性调节系统的稳定性. 北京: 科学出版社, 1959

7 MacFarlane, A. G. T. (ed.). Frequency-Response Methods in Control Systems. New York: IEEE Press, Inc., 19

8 Гелиг, А. Х., Леонов, Г. А., Якубович, В. А.. Устоичивость Нелинеиных Систем С Неединственным Состоянием Ра НАУКА, Г. Лавная Редакция, МОСКВА: Физико-Математич Ескои Литературы, 1978

Absolute Stability of a Class of Nonlinear Time-Varying Control Syste

YANG Bin and PAN Dehui

(The School of Information Science and Engineering, Northeastern University · Shenyang, 110006, PRC)

Abstract: In this paper, some sufficent conditions for absolute stability of nonlinear time-varying systems based on the quadratic Lyapunov function with integral terms have been given. The results a rior to that of [1].

Key words: control systems; Lyapunov function; absolute stability

本文作者简介

杨 斌 博士研究生. 1992 年毕业于辽宁师范大学数学系, 1995 年在辽宁师范大学数学系获得硕士学位, 同北大学信息科学与工程学院, 主要研究方向为控制系统的稳定性, 鲁棒控制.

潘德惠 1928 年生. 1949 年毕业于东北大学理学院, 现为东北大学工商管理学院教授, 自动控制系控制理论业博士生导师. 中国数学会理事, 曾多年从事应用数学的研究, 现在的研究领域是分布参数系统的模型辨识最优控