

Rastislav Kuliha *

PRINCÍPY ZNIŽOVANIA RIZIKA

RISK REDUCTION PRINCIPLES

Uvedené princípy sú spôsoby overovania miery rizika pre spojité systémy, s časovými vzorkami pre pozorovanie stavu systému. Navrhnutá neuronová sieť kopíruje plochú funkciu výkonu, na ktorú sú aplikované niektoré štatistické postupy pre zisťovanie miery spoľahlivosti.

1. Úvod

Každá činnosť, ktorej sa človek venuje, prináša istú mieru rizika pre neho, aj pre jeho okolie. Jej veľkosť sa dá ovplyvniť na úrovni fyzikálnych dejov v systéme. Svoj význam má tiež štatistický model.

2. Funkcia stavu a výstupná funkcia

Všetky dynamické systémy sa dajú opísať sústavou rovníc (1.1). V kritickej oblasti je $A(t, \mathbf{x}, \mathbf{u}) < 0$, nezávisle od \mathbf{u} , pri podmienke, že \mathbf{x} je vychýlené z \mathbf{x}_M (hranica bezpečnej oblasti) o viac ako ϵ .

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = A(t, \mathbf{x}, \mathbf{u}) \quad (1.1)$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{C} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{D} \cdot \mathbf{u}$$

Je to požiadavka inherentnej bezpečnosti, teda že systém by sa mal brániť vonkajším nepriaznivým vplyvom riadenia a samovoľne začať znižovať energiu v určitom stupni svojho vývoja, ak má vlastnosť bezpečnosti vrodenu. Ak sa systém považuje za lineárny v určitom čase i, δ , s maticami A a B pre prvú rovnicu (1.1) a stav \mathbf{x} je odvodzovaný z výstupnej premennej \mathbf{Y} , pri súčasnom pôsobení neželanej väzby výstupu na riadenie \mathbf{u} , označeného ako matica D^p , rozdiel ϵ medzi dvomi po sebe pozorovanými vektormi \mathbf{Y} je podľa (1.2).

Pri procese riadenia reťazovej reakcie je bezpečný stav systému pri minimálnom výkone, ale je tu najväčšie riziko prechodu reaktora do kritického stavu na okamihových neutrónoch, so strednou dobou života l_s . Zjednodušená rovnica pre nárast počtu neutrónov n , pri koeficiente reaktivity k_{ef} , je podľa (1.3). Je to rovnica nezaťažujúca absorpčné mechanizmy, pozri [1].

$$\epsilon(i+1) = \delta \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{x}(i) + \delta \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{u}(i) + D^p \cdot (\mathbf{u}(i+1) - \mathbf{u}(i)) \quad (1.2)$$

Various ways are applied for the attestation of a risk degree for a continuous system, with time samples for observation of the state. The neural network has been designed. The parameters of reliability have been calculated for flat power function.

1. Introduction

Every human activity brings about risk not only for the subject involved in it but also for its environment. A degree of risk can be influenced respecting physical actions in the system. The statistical model has also its importance.

2. State function and output function

All dynamic systems can be described by a set of equations (1.1). In a danger zone there is a transition matrix $A(t, \mathbf{x}, \mathbf{u}) < 0$ independently on \mathbf{u} , on condition that \mathbf{x} is deflected from \mathbf{x}_M (border of safe area) more than allowed.

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = A(t, \mathbf{x}, \mathbf{u}) \quad (1.1)$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{C} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{D} \cdot \mathbf{u}$$

This is an inherent safety demand. The system should resist outside negative command impacts. Next it should spontaneously begin to scale down energy, by which to pass to a safer state. For the first equation (1.1) the system which can be considered approximately as linear in certain time i, δ , is described as $\mathbf{A} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{B} \cdot \mathbf{u}$. State \mathbf{x} is derived from the output variable \mathbf{Y} . The difference ϵ between two consecutive vectors \mathbf{Y} with consideration for output effects of unwanted control coupling D^p is according to (1.2).

The process of control of a chain reaction isn't in a safe state if the reactor works on the minimum power [1]. Since the danger that reactor passes to the critical state on prompt neutrons with a mean life l_s is the highest. It is necessary to control the system carefully in this period. A simplified equation for accumulation of thermal neutrons n if reactivity factor is k_{ef} , is expressed in equation (1.3). It is an equation which includes no absorptive mechanics.

* Ing. Rastislav Kuliha

Department of Information and Safety Systems. Faculty of Electrical Engineering, University of Žilina, Veľký diel, NF-307, 010 26 Žilina, Slovak Republic, Tel.: +421-41-5133251, E-mail: kuliha@fel.ute.sk

$$\frac{dn}{dt} = \frac{k_{ef} - 1}{l_s} n \quad (1.3)$$

Chybná informácia o počte tepelných neutrónov n a zásah riadenia, napr. zmena k_{ef} z 1 na 1,01 ak je pomer okamihových neutrónov k tepelným vyšší, a teda aj l_s menšia, napr. 10^{-5} , má za následok taký nárast n , že reaktor sa stane neriaditeľný. Vychádza z toho maximálna rýchlosť posunu regulačných tyčí a inherentné vlastnosti bezpečnosti, ako je pokles reaktivity k_{ef} s teplotou, tiež zmierňujú nárast výkonu.

3. Statický model sériového koľajového obvodu

Vlastnosť inherentnej bezpečnosti nemusí byť postačujúca. Je dôležité znížiť pravdepodobnosť jeho zlyhania. Pri úvahe o bezpečnosti sústavy je potom dôležitá jej základná logická funkcia, bez dynamických zmien. V dvojrozmernom priestore sa dá analyzovať model sériového koľajového obvodu (obr. 1). Správanie je závislé od sily F , pôsobiacej na návěstné relé, s hraničnou hodnotou pre príťah F_h a prúdu prechádzajúceho koľajovým obvodom J . Jeho hodnoty pre pritiažnutie a odpadnutie kotvy sú J_{min} a J_{max} , pre relé J . Ak je sila F , väčšia ako F_h , svieti zelená. Ak je prúd J väčší ako J_{min} , znamená to prítomnosť vlaku. Sila F , stlačenia kontaktov relé N , by mala byť potom menšia ako F_h .

Každému bodu stavového priestoru sa dá priradiť úroveň bezpečnosti. Nie je náročné zostaviť takéto priradenie a odhadnúť systém majúci rovnakú funkciu, ktorého štruktúra je odhadnutá a parametre vypočítané z množiny pozostávajúcej z n dvojíc m -rozmerných vstupných a im zodpovedajúcich k -rozmerných výstupných vektorov. Z tréningovej množiny sa dajú odhadnúť váhy a prahy neurónovej siete (NN), kritériom minima energie E . Tvori ju súčet rozdielu štvorcov (2.1) medzi skutočnou hodnotou S_i a očakávanou hodnotou výstupu O_i . Štruktúra s 2 neurónmi v skrytej vrstve s prahmi v_j , a 1 výstupným, s prahom ϕ , a váhami synáps w_{oj} a v_{ij} je na obr. 2.

$$z_1 = t(\vartheta_1 + v_{11}f + v_{21}j)$$

$$z_2 = t(\vartheta_2 + v_{22}f + v_{21}j)$$

$$\frac{dn}{dt} = \frac{k_{ef} - 1}{l_s} n \quad (1.3)$$

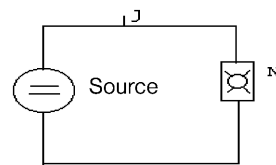
A false report about the number of thermal neutrons n along with a bad intervention of the control system can cause that it will be impossible to restrict the chain reaction, e.g. by the k_{ef} change from 1 to 1.01. Considering that the ratio between prompt neutrons and thermal neutrons is higher than allowed then the l_s is less, e.g. 10^{-5} , the accumulation n in a time unit is very abrupt. The reactor begins to be uncontrollable. That can be seen in (1.3). But properties of an inherent safety as loss of reactivity with temperature, mitigate the accrual of power. The mechanism of the active safety can be defined by the equation (1.3) - limitation of speed of regulation bars.

3. A static model of a serial railway track circuit

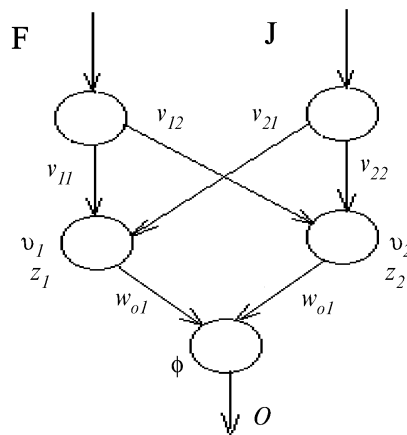
The property of the inherent and active safety needn't always be sufficient for the global safety. It needs also monitoring of the system reliability. It means to determine its break down possibility. It is important considering the safety the basic logic function without dynamic alterations. A serial railway track circuit model can be analysed with regard to two variables F and I . This model is shown in Fig. 1.

Behaviour of this system depends on the force F which acts at a signal relay with a limit account for the ballast F_h and on the current I that flows through the circuit. Its values for pull and defection of the relay J are I_{min} and I_{max} . If its force F is above the measure F_h , the green signal must be flared. If I is greater than I_{min} , that represents a train's attendance. Afterwards the force F , which presses the contact of the relay N should be less than F_h .

A safety level can be assigned to any point of a state space. It isn't difficult to arrange a function determining a level of safety of every point at the state space. That function can be realised, for instance, by the system, whose structure was adjusted and the arguments were calculated from the aggregate N couple m -dimensional input and k -dimensional output vectors corresponding to them.



Obr. 1. Kontakt relé J , ktoré vypína zelené svetlo
Fig. 1. Contact relay J that open green light



Obr. 2 NN, s výstupmi 2. vrstvy z_1 a z_2
Fig. 2 NN, with output of second layer z_1 and z_2

$$z_1 = t(\vartheta_1 + v_{11}f + v_{21}j)$$

$$z_2 = t(\vartheta_2 + v_{22}f + v_{21}j)$$

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (S_k - O_k)^2 \quad (2.1)$$

$$t(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}$$

$$S = t(\varphi + w_{1o}z_1 + w_{2o}z_2)$$

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (S_k - O_k)^2 \quad (2.1)$$

$$t(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}$$

$$S = t(\varphi + w_{10}z_1 + w_{20}z_2)$$

Zmena veľkostí prahov φ v $i+1$. kroku môže prebiehať podľa (2.2), μ je momentový člen ($\mu = 0.5 \div 0.7$), λ je rýchlosť učenia ($\lambda \cong 0.1$). Rovnako sa postupovalo pri výpočte ostatných prahov a váh. E je nutné najskôr derivovať podľa S , potom podľa φ , ako závislú premennú. Viac je možné sa dozvedieť v [3].

$$\varphi^{i+1} = \varphi^i - \lambda \frac{\partial E_i}{\partial \varphi} + \mu \cdot (\varphi^i - \varphi^{i-1}) \quad (2.2)$$

4. Funkcia výkonu G

Systém je v stavovom priestore v bezpečnom stave, ak je jeho funkcia výkonu G kladná. Pravdepodobnosť nebezpečného stavu je definovaná podľa [4] ako (3.1).

D je priestor, v ktorom je G kladná. Pre koeficient spoľahlivosti β platí (3.2):

$$p_f = p(G(X) < 0) = \int_D f_X(X_1, X_2, \dots, X_n) \cdot dx_1 dx_2 \dots dx_n \quad (3.1)$$

$$\beta = \frac{E(G(X))}{\sigma_{G(X)}} \quad (3.2)$$

E je stredná hodnota funkcie G , $E(G(X)) = G(m_1, m_2, \dots, m_n) = G(\mathbf{m})$ uvažovaná ako jej veľkosť pre bod \mathbf{m} , ktorý je strednou hodnotou stavového priestoru.

$$\sigma_{G(X)}^2 \cong \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial G(X)}{\partial X_i} \frac{\partial G(X)}{\partial X_j} \rho(X_i, X_j) \right| \quad (3.3)$$

$\sigma_{G(X)}$ je rozptyl a $\rho(X_i, X_j) = E[(X_i - \bar{X}_i) \cdot (X_j - \bar{X}_j)]$ je koeficient kovariácie [2].

Ak je v priestore X možné uvažovať hladkú funkciu G , sústavu je možné opísať sigmoidálnou funkciou výkonu, napríklad podľa (3.4).

$$G(x) = \sum_{i=1}^N u_i \prod_{j=1}^n \frac{1}{1 + S_{jin} e^{x_j - x_{ji} \min}} \frac{1}{1 + S_{jix} e^{-(x_j - x_{ji} \max)}} \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial G(x)}{\partial x_k} = \sum_{i=1}^N u_i \frac{S_{kix} e^{-x_k + x_{k \max}} - S_{kin} e^{-(x_k + x_{ki} \min)}}{(1 + S_{kix} e^{-x_k + x_{k \max}}) \cdot (1 + S_{kin} e^{-(x_k + x_{ki} \min)})} \prod_{j=1}^n \frac{1}{1 + S_{jix} e^{-(x_j - x_{ji} \max)}} \frac{1}{1 + S_{jin} e^{x_j - x_{ji} \min}} \quad (3.5)$$

n : rozmernosť priestoru, na ktorom je definovaná funkcia G ,
 N : počet oblastí, na ktorých je funkcia G definovaná svojou úrovňou,

u_i : veľkosť funkcie G na oblasti i je kladná alebo záporná, podľa rizika,

S_{jin} : príznak nárastu prierezu v i -tej oblasti v smere osi j ; ak existuje skok $u_{i \min} \rightarrow u_{i \max} \Rightarrow S_{jin} = 1$, inak je 0

The balances and bias of neural network (NN) can be adjusted from the training set (NN) by the criterion of the mini power E . Therefore, the energy contains the sum of square differences between the actual output S_i and anticipation sample O_i from the training set, according to (2.1). If there are more specimens than the total energy is sum of energy for all specimens. Fig. 2 gives us the structure with two neurons in a hidden layer with bias v_i , one neurons in a output layer, with the biasmeasures φ , if the balances of synapses are w_{ij} and v_{ij} . The relationship between the bias mass φ at $i+1$ and at i in every time step is by (2.2). The sign μ is a cell of moment ($\mu = 0.5 \div 0.7$) and the λ is a rate learning ($\lambda \cong 0.1$). The other bias and balances must be calculated as well but they must be in (2.2) instead of φ . The trouble is that we must differentiate E at first after S and afterwards after φ , respectively w_{ij} , v_{ij} or ϑ as a dependent variable. It needs to come on like that for the calculation of the parameters by a back propagation method. More about that can be seen in [3].

$$\varphi^{i+1} = \varphi^i - \lambda \frac{\partial E^i}{\partial \varphi} + \mu \cdot (\varphi^i - \varphi^{i-1}) \quad (2.2)$$

4. The Power function G

This method was applied also in [4]. The system situated in a safety status at a state space, if its power function G is positive. The probability of its transition to a dangerous state p_f (3.1) and the reliability coefficient β (3.2) are defined in the following way:

Let E be a mean value of the power function $E(G(X)) = G(m_1, m_2, \dots, m_n)$ and \mathbf{m} a vector mean values of components from the state space.

$\sigma_{G(X)}$ is a dispersion of the variable X , $\rho(X_i, X_j) = E[(X_i - \bar{X}_i) \cdot (X_j - \bar{X}_j)]$ is the covariation coefficient [2]. The safety of the system can be defined by the exponential power function (3.4).

S_{jix} : priynak poklesu prierezu v i -tej oblasti v smere osi j ; ak existuje skok $u_{imax} \rightarrow u_{imin}$, inak je $S_{ix} = 0$.

Pre funkciu na obr. 4 a oblasť ($F > F_h, J < J_{min}$), na obr. 3 je $i = 4$. Teda $S_{J4n} = S_{F4n} = 1, S_{J4x} = S_{F4x} = 0$. Ale pre $i = 3$, ($F < F_h, J > J_{min}$), je $S_{J3n} = 0, S_{J3x} = 1, S_{F3n} = 1, S_{F3x} = 0$.

$x_{ji \min}, x_{ji \max}$: body na osi j , v ktorých nastáva prechod $u_i u_{imax} \rightarrow u_{imin}$ resp. $u_{imin} \rightarrow u_{imax}$.

Pre tento prípad je počet oblastí $N = 5$ a existujú dve stavové premenné F a J , teda $n = 2$, pričom hodnoty funkcie G môžu byť podľa obr. 3.

Funkcia výkonu G podľa (3.4) je na obr. 4. Je východiskom pre NN so 6 skrytými neurónmi, ak vstupné vzory sú z priestoru (J,F) . Odozva skutočnej NN je na obr. 5. Chyba E bola ako na obr. 6. Najvhodnejšie je zvýšiť čas výskytu systému v bode $(0,10)$ priestoru (J,F) , (obr. 7). Taký

I_{\min}	+	-
I_{\max}	+ -	+
	+ - -	+

F_h

Obr. 3 Hodnoty funkcie G . Podľa počtu znamienok „+“ a „-“ je určená približná veľkosť funkcie výkonu
Fig. 3 Values of the power function G . It is according to number of signs

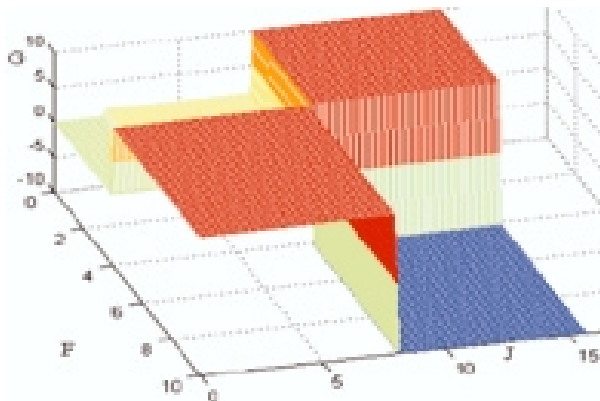
S_{jix} : the decrease attribute for a cross section of the area i in direction of the axis j . If there is a jump $u_{imax} \rightarrow u_{imin}$ for this area $u_i \Rightarrow S_{jix} = 1$.

For the function in Fig. 4 and area ($F > F_h, J < J_{min}$), Fig. 3, is the number of the area $i = 4$. Thereafter $S_{J4n} = S_{F4n} = 1, S_{J4x} = S_{F4x} = 0$. But for area $i = 3$, ($F < F_h, J > J_{min}$), $S_{J3n} = 0, S_{J3x} = 1, S_{F3n} = 1, S_{F3x} = 0$,

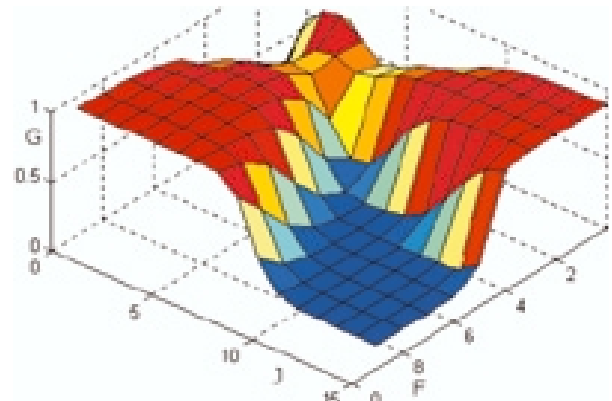
$x_{ji \min}$: the point in this axis j at which a jump $u_{imax} \rightarrow u_{imin}$ is determined for u_i ; when we describe point $x_{ji \max} : u_{imin} \rightarrow u_{imax}$.

For this case is number of area $N = 5$, (3.4). There are two variables of state F and J , hence area dimension is $n = 2$, and values of G can be seen in Fig. 3.

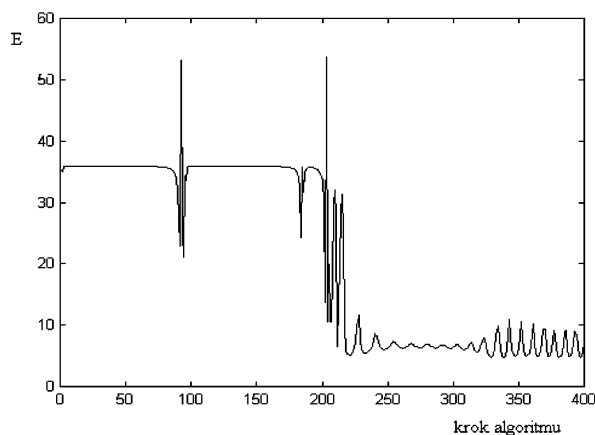
Fig. 4 gives us the power function G by the formula (3.4). This function is a source for NN with 6 hidden neurons, if the input models are from its area (J,F) . The response of actual NN (Fig. 5) is not accomplished. The weights are in Tab. 1. The error E calculating in



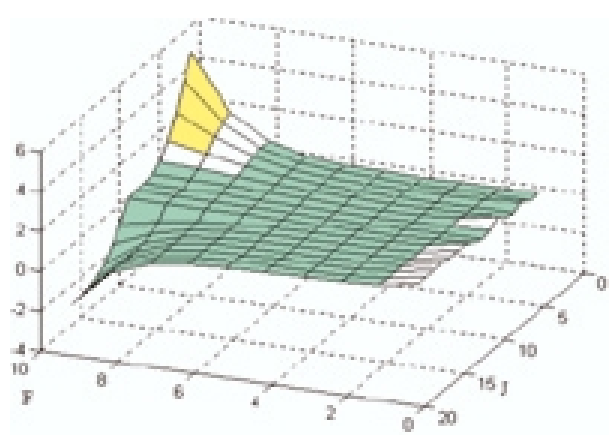
Obr. 4 Funkcia výkonu G
Fig. 4 Power function G



Obr. 5 Odozva NN pre 160 vzorov
Fig. 5 NN reaction for 160 samples



Obr. 6 Energia pre iterácie od 0 do 400
Fig. 6 Energy for iteration for steps from 1 to 400



Obr. 7 Funkcia β , pri malom štatistickom rozptyle
Fig. 7 Reliably coefficient β for a little statistical dispersion in every point

stav by bol z hľadiska spoľahlivosti najpriateľnejší, ale prevádzka by bola slabá, stále by svietilo červené svetlo.

Výsledok algoritmu pre najoptimálnejšie váhy, ak sú začiatkové hodnoty zvolené z normálneho rozdelenia, je v tab. 1. Označenia sú ekvivalentné obr. 2, len počet skrytých neurónov je vyšší. V skrytej vrstve je 6 neurónov.

Parametre NN

Tab. 1

$w = (1.0287 \quad 0.9086 \quad 3.7054 \quad 2.4374 \quad 1.3019 \quad 3.5697)$ $v = -5.3882$ $v = \begin{pmatrix} -0.7918 & 0.6228 \\ -0.7364 & 0.5455 \\ 0.7354 & 0.9761 \\ -1.8929 & 0.8742 \\ -1.4530 & 1.1581 \\ 1.0960 & -4.1485 \end{pmatrix}$ $\varphi = (-1.0084 \quad -0.7046 \quad -4.6716 \quad 7.0999 \quad 0.8789 \quad 1.0774)$

5. Záver

Prvky aktívnej bezpečnosti zaručujú riadenie s dostatočnou rezervou pri neprítomnosti vrodenej bezpečnosti systému. Vychádza z pozorovania stavu. Matica D^p (1.2) môže byť príčinou skreslenia stavu systému pozorovaného na výstupe Y . Funkcia G zostavená podľa (3.4) je vhodná aj pre viac rozmerov a pre tréning viac ako dvojjstupových NN.

6. Literatúra - References

- [1] KLIK, F., DALIBA, J.: *Jaderná energetika*, ČVUT, Praha 1995
- [2] SADOWSKI, W.: *Matematická štatistika*, Alfa, Bratislava 1975
- [3] KVASNIČKA, V., KRÁL, A., FARKAŠ, I.: *Úvod do teórie neurónových sietí*, IRIS, Bratislava 1997
- [4] BENMANSOUR, A., ABDALLAH, MASROURI, et AUVINET, G.: *Analyse fiabliste du comportement axial des conduites d'assainissement*

all steps in the back propagation algorithm is in Fig. 6. The best for the reliability is to advance the time occurrence system at the point (0,10) of area (J, F), (Fig. 7). It is also little effective, because the action circuit is active in the area $G > J_{min}$. The exit from the algorithm, hence optimal balances, if the initial amounts of the values are from a normal distribution is in tab. 1. Marks are equivalent Fig. 2; only the number of the hidden neurons is higher. There are 6 units in the hidden layer.

Parameters of NN

Tab. 1

$w = (1.0287 \quad 0.9086 \quad 3.7054 \quad 2.4374 \quad 1.3019 \quad 3.5697)$ $v = -5.3882$ $v = \begin{pmatrix} -0.7918 & 0.6228 \\ -0.7364 & 0.5455 \\ 0.7354 & 0.9761 \\ -1.8929 & 0.8742 \\ -1.4530 & 1.1581 \\ 1.0960 & -4.1485 \end{pmatrix}$ $\varphi = (-1.0084 \quad -0.7046 \quad -4.6716 \quad 7.0999 \quad 0.8789 \quad 1.0774)$

5. Summary

The objectivity of observation of a real system state depends on the vector D^p in (1.2) which can cause distortion of the system state x . The attribute of inherent safety warrants mitigate a bad control. It is suitable to apply a neural network for a better safety supervision. The G function (3.4) is suitable for the point of the input for a training set.