



PROFESOR

TADEUSZ KACZOREK

**DOKTOR HONORIS CAUSA
POLITECHNIKI LUBELSKIEJ**

PROFESOR
TADEUSZ KACZOREK



DOKTOR HONORIS CAUSA
POLITECHNIKI LUBELSKIEJ



Lublin 2004

Opracowano w Instytucie Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii

Skład: mgr Renata Gałat

ISBN

Druk i oprawa:
Wydawnictwo Drukarnia
LIBER
Ul. Szczerbowskiego 6, Lublin
Tel./fax (0-81) 442-54-44

**Uchwała
Senatu Politechniki Lubelskiej**

z dnia 25 marca 2004 r.

w sprawie nadania tytułu Doktora Honoris Causa
Politechniki Lubelskiej.

Działając na podstawie art. 48 ustawy z dnia 12 września 1990 r. o szkolnictwie wyższym (Dz. U. Nr 65 poz. 385 z późniejszymi zmianami), oceniając jako wybitny dorobek naukowy, dydaktyczny i organizacyjny oraz uwzględniając opinię Senatów Politechniki Warszawskiej i Akademii Górniczo-Hutniczej, Senat Akademicki Politechniki Lubelskiej

nadaje

profesorowi dr hab. inż. TADEUSZOWI KACZORKOWI

tytuł

**DOKTORA HONORIS CAUSA
POLITECHNIKI LUBELSKIEJ.**

Przewodniczący
Senatu Politechniki Lubelskiej

Rektor
dr hab. inż. Józef Kuczmaszewski, prof. PL

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Janowski

Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii
Politechniki Lubelskiej

LAUDACJA

Matematyczny opis zjawisk i procesów w układach (systemach) elektrycznych podstawowym warunkiem optymalnego wykorzystania ich w praktyce

Natura zjawisk elektrycznych i złożoność procesów dynamicznych w układach automatycznego sterowania powodują, że ludzka wyobraźnia i zwykła intuicja zawodzą i musimy zaufać matematyce. Znane powiedzenie, że najbardziej praktyczną rzeczą jest dobra teoria szczególnie dobrze stosuje się do elektrotechniki i automatyki, w których to dziedzinach powszechnie cenionym wybitnym specjalistą, o uznanym przez światową społeczność naukową autorytecie, jest Profesor Tadeusz Kaczorek.

Urodzony w 1932 r. Tadeusz Kaczorek studiował na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej w latach 1952-1956 uzyskując tytuł magistra inżyniera elektryka. W okresie studiów pracował w Katedrze Elektrotechniki Teoretycznej kierowanej przez Profesora Tadeusza Cholewickiego. Stopień doktora nauk technicznych otrzymał w 1962 roku a stopień doktora habilitowanego – w 1964 r.

Po habilitacji podjął pracę w Katedrze Podstaw Elektroniki i Automatyki w Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej a rok później – w 1965 r. – powołany został na stanowisko docenta i jednocześnie na stanowisko Kierownika tej Katedry.

W 1971 roku doc. Tadeusz Kaczorek otrzymał tytuł profesora nadzwyczajnego a trzy lata później – w 1974 r. – tytuł profesora zwyczajnego. Po zmianie struktury organizacyjnej Politechniki Warszawskiej w 1970 r. został kierownikiem Zakładu Teorii Sterowania a następnie dyrektorem Instytutu Sterowania i Elektrowni Przemysłowej na Wydziale Elektrycznym.

Zainteresowania naukowe Profesora T. Kaczorka koncentrują się głównie na metodach analizy i syntezy układów elektrycznych, projektowaniu układów śledzących z zerowym błędem osiąganym po skończonym czasie, sterowalności i obserwowalności tych układów jak również analizie i syntezie regularnych i singularnych układów z dwuwymiarowym i wielowymiarowym wektorem zmiennych niezależnych to jest tak zwanych układów 2D i 3D.

Profesor Tadeusz Kaczorek jest wybitnym znawcą rachunku macierzowego i twórcą wielu metod analizy układów elektrycznych wykorzystujących szczególne właściwości macierzy. Jego osiągnięcia naukowe w tym obszarze są uznane i cenione w świecie. Wyrazem uznania wielkich osiągnięć Profesora Tadeusza Kaczorka w zakresie teorii sterowania są liczne zaproszone wykłady w wielu uniwersytetach wszystkich kontynentów.

Naukowy dorobek publikowany Profesora T. Kaczorka jest niezwykle duży, bowiem liczy szesnaście książek i monografii oraz ponad sześćset artykułów i rozpraw naukowych.

Na szczególną uwagę zasługują monografie, które wywarły znaczny wpływ na kierunki badań w dziedzinie teorii sterowania w świecie i należy do nich zaliczyć monografię „Two-Dimensional Linear Systems” wydaną przez Springer’a w 1985 r. i wyróżnioną nagrodą państwową, dwutomową monografię „Linear Control Systems” wydaną w latach 1992-93 przez Research Studies Press i J. Wiley’a jak również wydaną przez Springer’a w 2002 roku monografię „Positive 1D and 2D Systems”. Prof. T. Kaczorek był współautorem i redaktorem wydanego w Stanach Zjednoczonych Ameryki przez CSR Press i IEEE Press „Comprehensive Dictionary of Electrical Engineering”.

W polskiej elektrotechnice i automatyce Profesor Tadeusz Kaczorek już od wielu jest postacią najwybitniejszą, co zgodnie potwierdzają największe autorytety w tej dziedzinie nauki a wśród nich recenzent wniosku – profesor Ryszard Tadeusiewicz, rektor Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Profesor Tadeusz Kaczorek jest twórcą szkoły naukowej w dziedzinie teorii sterowania, o czym świadczy liczne grono Jego wychowanków, w tym 59 wypromowanych przez Niego doktorów. Spośród nich dwudziestu jest profesorami wyższych uczelni, w tym trzynastu – uczelni zagranicznych, głównie w Stanach Zjednoczonych i Wielkiej Brytanii.

Tak wspaniałe wyniki w kształceniu i rozwoju naukowym młodych pracowników mogły powstać w klimacie wielkiej życzliwości i umiejętności mobilizacji do wysiłku tworzonemu przez mistrza o wielkim autorytecie, który nie ma cienia obaw, że uczniowie zbyt szybko Go przerosną. Szkoła naukowa

Profesora Tadeusza Kaczorka ma znaczący wpływ na kierunki i tempo rozwoju teorii sterowania w skali światowej.

Kandydat jest również wybitnym nauczycielem akademickim, autorem wysoko cenionych podręczników i skryptów, a jego wykłady dla studentów i doktorantów oraz seminaria cieszą się wielkim, niesłabnącym zainteresowaniem. Prof. T. Kaczorek pracę naukową i dydaktyczną łączył z działalnością organizacyjną pełniąc przez wiele lat funkcje akademickie dyrektora Instytutu Sterowania i Elektroniki Przemysłowej, dziekana Wydziału Elektrycznego, prorektora Politechniki Warszawskiej oraz (w latach 1988-1991) dyrektora Stacji Naukowej Polskiej Akademii Nauk w Rzymie. Na tej placówce bardzo aktywnie propagował polską naukę i kulturę.

Wyrazem wielkiego uznania Kandydata za autorytet w nauce o wysokiej etyce Uczzonego jest powierzenie Mu w drodze wyboru najwyższych godności akademickich; członka rzeczywistego Polskiej Akademii Nauk, członka Akademii Inżynierskiej w Polsce, członkostwa w Centralnej Komisji ds. Tytułu Naukowego i Stopni Naukowych przez wiele kadencji, a w obecnej również wiceprzewodniczącego całej Komisji oraz nadanie Mu doktoratu honoris causa Uniwersytetu Zielonogórskiego.

Z Politechniką Lubelską Prof. Tadeusz Kaczorek związany jest od 1971 roku, kiedy to Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej prowadził zaoczne studia doktoranckie w Lublinie dla pracowników Wydziału Elektrycznego Wyższej Szkoły Inżynierskiej. Kandydat jako bardzo młody, 39-letni profesor wykładał automatykę dla doktorantów oraz był promotorem kilku z nich. Był to mój pierwszy kontakt z Profesorem Tadeuszem Kaczorkiem, który to trwa do dziś. Drugi nabór na studia doktoranckie odbył się w 1973 roku, kiedy to pełniłem funkcję dziekana Wydziału Elektrycznego, zajmowałem się stroną organizacyjną tych studiów. Miałem również przyjemność recenzować niektóre prace doktorskie napisane pod promotorstwem Profesora Tadeusza Kaczorka, co poczytuję sobie nie tylko jako wielki zaszczyt, ale przede wszystkim szkołę, jak należy pracować z doktorantami.

Profesor Tadeusz Kaczorek w znacznym stopniu przyczynił się do rozwoju kadry naukowej Wydziału Elektrotechniki i Informatyki, jak również wspierał nasze starania o spełnienie warunków do uzyskania uprawnień nadawania stopni naukowych doktora i doktora habilitowanego.

Raduje się Wydział Elektrotechniki i Informatyki, że w roku jubileuszowym 40-lecia Wydziału najwyższą godność akademicką – tytuł Doktora Honoris Causa Politechnika Lubelska nadaje wybitnemu polskiemu uczonemu o światowym autorytecie w dziedzinie teorii elektrotechniki i teorii sterowania, twórcy promieniującej na cały świat szkoły naukowej, przyjacielowi i wychowawcy młodych pracowników nauki, przyjacielowi Politechniki Lubelskiej – Profesorowi Tadeuszowi Kaczorkowi.

WYKŁAD DOKTORA HONORIS CAUSA

Rola macierzy cyklicznych i normalnych w modelowaniu układów dynamicznych

1. Wprowadzenie

Tworząc model układu na podstawie danych wziętych z obserwacji lub eksperymentu otrzymujemy zwykle nie jeden, ale zbiór modeli. Pojawia się pytanie, który model z tego zbioru jest modelem reprezentatywnym odzwierciedlającym prawidłowo własności dynamiczne obiektu rzeczywistego i powinien stanowić punkt wyjścia projektowania lub wyznaczania sterowania tego obiektu. Jakimi kryteriami należy się kierować przy wyborze modelu reprezentatywnego ze zbioru modeli. Pokażemy, że takimi kryteriami powinny być cykliczność macierzy A w opisie za pomocą równań stanu oraz normalność macierzy transmitancji operatorowych układu.

Jak wiadomo macierz kwadratową A nazywamy cykliczną, jeżeli jej wielomian charakterystyczny pokrywa się z wielomianem minimalnym [1]. Macierze cykliczne charakteryzują się strukturalną stabilnością, która odgrywa ważną rolę w modelowaniu i identyfikacji układów dynamicznych [7,8]. Każdą macierz transmitancji układu liniowego o m wejściach i p wyjściach można zawsze przedstawić w postaci standardowej $T(s) = \frac{P(s)}{d(s)}$, przy czym $P(s)$ jest

macierzą wielomianową, a $d(s)$ najmniejszym wspólnym mianownikiem. Macierz transmitancji $T(s)$ (oraz odpowiadający jej układ) nazywać będziemy normalną (normalnym) wtedy i tylko wtedy, gdy każdy niezerowy minor stopnia drugiego macierzy wielomianowej $P(s)$ dzieli się bez reszty przez wielomian $d(s)$. Klasa układów normalnych jest bardzo szeroka i odgrywa podstawową rolę w teorii układów dynamicznych [2, 4-8].

W pracy tej zostaną przedstawione:

- warunki konieczne i wystarczające cykliczności macierzy A oraz normalności macierzy transmitancji $T(s)$;
- warunki istnienia i metody doboru sprzężeń zwrotnych od stanu tak, aby macierz A układu zamkniętego była macierzą cykliczną;

- warunki istnienia i metody doboru sprzężeń zwrotnych tak, aby macierz transmitancji układu zamkniętego była normalna.

2. Preliminaria

Niech $R^{m \times n}$ będzie zbiorem macierzy o elementach z ciała liczb rzeczywistych o wymiarach $m \times n$ oraz $R^n := R^{n \times 1}$. Weźmy pod uwagę układ ciągły opisany równaniami

$$(1a) \quad \dot{x} = Ax + Bu$$

$$(1b) \quad y = Cx + Du$$

gdzie $x \in R^n$, $u \in R^m$ i $y \in R^p$ są odpowiednio wektorami stanu, wymuszenia i odpowiedzi oraz $A \in R^{n \times n}$, $B \in R^{n \times m}$, $C \in R^{p \times n}$, $D \in R^{p \times m}$. Macierz transmitancji układu (1) ma postać

$$(2) \quad T(s) = C[Is - A]^{-1}B + D$$

Macierz tę możemy napisać w postaci standardowej

$$(3) \quad T(s) = \frac{P(s)}{d(s)}$$

przy czym $P(s) \in R^{p \times m}[s]$ ($R^{p \times m}[s]$ zbiór macierzy wielomianowych o wymiarach $p \times m$), a $d(s)$ jest najmniejszym wspólnym mianownikiem wszystkich elementów macierzy $T(s)$.

Korzystając z działań elementarnych na wierszach i kolumnach [1,3] możemy macierz $P(s) \in R^{p \times m}[s]$ sprowadzić do postaci kanonicznej Smitha

$$(4) \quad P_s(s) = \text{diag}[i_1(s), i_2(s), \dots, i_r(s), 0, \dots, 0] \in R^{p \times m}[s]$$

gdzie $i_1(s), \dots, i_r(s)$ są wielomianami inwariantnymi spełniającymi warunek podzielności $i_{k+1}(s) | i_k(s)$, $k = 1, \dots, r-1$ ($i_{k+1}(s)$ jest podzielny bez reszty przez $i_k(s)$, $k = 1, \dots, r-1$), a $r = \text{rzęd } P(s)$. Wielomiany inwariantne można wyznaczyć z zależności [1]

$$(5) \quad i_k(s) = \frac{D_k(s)}{D_{k-1}(s)} \quad (D_0(s) = 1), \quad k = 1, \dots, r$$

gdzie $D_k(s)$ jest największym wspólnym dzielnikiem wszystkich minorów stopnia k macierzy $P(s)$.

Wielomian charakterystyczny $\varphi(s) = \det[Is - A]$ macierzy A oraz jej wielomian minimalny $\Psi(s)$ są związane zależnością

$$(6) \quad \Psi(s) = \frac{\varphi(s)}{D_{n-1}(s)}$$

Z zależności (3)-(5) wynika, że $\Psi(s) = \varphi(s)$ wtedy i tylko wtedy, gdy

$$D_1(s) = D_2(s) = \dots = D_{n-1}(s) = 1$$

Macierz A nazywamy cykliczną wtedy i tylko wtedy, gdy $\Psi(s) = \varphi(s)$.

Z zależności (5) wynika, że macierz A jest cykliczna wtedy i tylko wtedy, gdy

$$(7) \quad D_{n-1}(s) = 1 \text{ lub równoważnie } i_1(s) = i_2(s) = \dots \\ = i_{r-1}(s) = 1, i_r(s) = \Psi(s) = d(s)$$

Definicja 1. Macierz $\mathbf{A} \in R^{n \times n}$ nazywamy strukturalnie stabilną wtedy i tylko wtedy, gdy istnieje liczba dodatnia ε_0 taka, że dla dowolnej macierzy $\mathbf{B} \in R^{n \times n}$ oraz liczby ε spełniającej warunek $|\varepsilon| < \varepsilon_0$ wszystkie macierze $\mathbf{A} + \mathbf{B}\varepsilon$ są macierzami cyklicznymi.

Twierdzenie 1. Macierz cykliczna $\mathbf{A} \in R^{n \times n}$ jest macierzą strukturalnie stabilną.

Dowód tego twierdzenia jest podany w [8] i jest oparty na następujących dwóch faktach:

1. Jeżeli macierz $\mathbf{A} \in R^{n \times n}$ jest nieosobliwa, to wszystkie macierze $\mathbf{A} + \mathbf{B}$ są również nieosobliwe dla macierzy, której norma $\|\mathbf{B}\|$ spełnia warunek $\|\mathbf{B}\| < \alpha$ dla α będącego pewną liczbą dodatnią.
2. Jeżeli macierz $\mathbf{A} \in R^{n \times n}$ ma rząd $\mathbf{A} = r$, to rząd $[\mathbf{A} + \mathbf{B}] \geq r$ dla macierzy $\mathbf{B} \in R^{n \times n}$ spełniającej powyższy warunek.

Macierze niecykliczne nie są strukturalnie stabilne, ale dla macierzy niecyklicznej $\mathbf{A} \in R^{n \times n}$ można zawsze dobrać macierz $\mathbf{B} \in R^{n \times n}$ oraz liczbę małą ε ($|\varepsilon| > 0$) takie, że suma $\mathbf{A} + \mathbf{B}\varepsilon$ jest macierzą cykliczną.

3. Normalność macierzy odwrotnej

Dla dowolnej macierzy A macierz odwrotną $[Is - A]^{-1}$ możemy napisać w postaci

$$(8) \quad [Is - A]^{-1} = \frac{\bar{P}(s)}{\bar{d}(s)}$$

gdzie $\bar{P}(s) \in R^{n \times n}[s]$, $\bar{d}(s)$ jest najmniejszym wspólnym mianownikiem elementów macierzy $[Is - A]^{-1}$.

Definicja 2. Macierz wymierną (8) nazywamy macierzą normalną, jeżeli każdy niezerowy minor stopnia drugiego macierzy wielomianowej $\bar{P}(s)$ dzieli się bez reszty przez wielomian $\bar{d}(s)$.

Twierdzenie 2. Niech $A \in R^{n \times n}$ i $n \geq 2$. Macierz odwrotna (8) jest macierzą normalną wtedy i tylko wtedy, gdy macierz A jest macierzą cykliczną.

Dowód tego twierdzenia jest podany w pracy [5, 6].

Łatwo wykazać, że [5] każda niediagonalna macierz $A \in R^{n \times n}$ dla $n = 2$ jest cykliczna.

Przykład 1. Macierz

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

jest cykliczna, gdyż

$$\varphi(s) = \det[Is - A] = \begin{vmatrix} s-2 & -1 & 0 \\ 0 & s-2 & 0 \\ 0 & 0 & s-1 \end{vmatrix} = (s-2)^2(s-1)$$

oraz

$$[Is - A]_s = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (s-1)(s-2)^2 \end{bmatrix}$$

Zatem $\Psi(s) = \varphi(s)$.

W tym przypadku

$$[Is - A]^{-1} = \begin{bmatrix} s-2 & -1 & 0 \\ 0 & s-2 & 0 \\ 0 & 0 & s-1 \end{bmatrix}^{-1} = \frac{P(s)}{d(s)}$$

gdzie

$$d(s) = (s-1)(s-2)^2,$$
$$P(s) = \begin{bmatrix} (s-1)(s-2) & s-1 & 0 \\ 0 & (s-1)(s-2) & 0 \\ 0 & 0 & (s-2)^2 \end{bmatrix}$$

Niezerowe minory stopnia drugiego macierzy $P(s)$

$$M_{11} = (s-1)(s-2)^3, M_{12} = (s-1)(s-2)^2,$$
$$M_{22} = (s-1)(s-2)^3, M_{33} = (s-1)^2(s-2)^2$$

dzielią się bez reszty przez $d(s)$.

Przykład 2. Macierz

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

nie jest macierzą cykliczną, gdyż

$$\varphi(s) = \det[Is - A] = \begin{vmatrix} s-2 & -1 & 0 \\ 0 & s-2 & 0 \\ 0 & 0 & s-2 \end{vmatrix} = (s-2)^3$$

oraz

$$[Is - A]_s = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & s-2 & 0 \\ 0 & 0 & (s-2)^2 \end{bmatrix}$$

Zatem

$$\Psi(s) = (s-2)^2, \text{ gdyż } D_{n-1}(s) = s-2$$

oraz $\Psi(s) \neq \varphi(s)$.

W tym przypadku

$$[Is - A]^{-1} = \begin{bmatrix} s-2 & -1 & 0 \\ 0 & s-2 & 0 \\ 0 & 0 & s-2 \end{bmatrix}^{-1} = \frac{P(s)}{d(s)}$$

gdzie

$$d(s) = (s-2)^2, P(s) = \begin{bmatrix} (s-2) & s-1 & 0 \\ 0 & (s-2) & 0 \\ 0 & 0 & (s-2)^2 \end{bmatrix}$$

Minor stopnia drugiego macierzy $P(s)$

$$M_{21} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & s-2 \end{vmatrix} = s-2$$

nie dzieli się przez $d(s)$.

Twierdzenie 3. Macierz $A = [a_{ij}] \in R^{n \times n}$ spełniająca jeden z niżej podanych warunków

$$(9a) \quad a_{ij} \begin{cases} = 0 & \text{dla } j > i+1 \\ \neq 0 & \text{dla } j = i+1 \end{cases} \quad i, j = 1, \dots, n$$

$$(9b) \quad a_{ij} \begin{cases} = 0 & \text{dla } i > j+1 \\ \neq 0 & \text{dla } i = j+1 \end{cases} \quad i, j = 1, \dots, n$$

jest macierzą cykliczną.

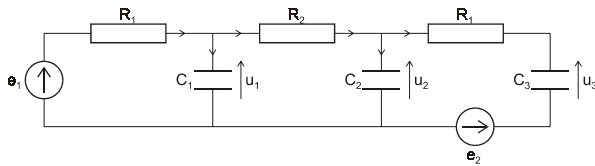
Dowód tego twierdzenia jest podany w pracy [2].

Z twierdzenia 2 wynika natychmiast, że macierz Frobeniusa

$$A_F = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \\ a_0 & a_1 & a_2 & \cdots & -a_{n1} \end{bmatrix}$$

jest macierzą cykliczną [1].

Przykład 3. Weźmy pod uwagę obwód elektryczny o schemacie podanym na rys.



Przyjmując za zmienne stanu napięcie na kondensatorach u_1, u_2, u_3 otrzymamy równanie stanu o postaci

$$\begin{bmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \\ \dot{u}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 C_1} & \frac{1}{R_2 C_1} & 0 \\ \frac{1}{R_2 C_2} & -\frac{R_2 + R_3}{R_2 R_3 C_2} & \frac{1}{R_3 C_2} \\ 0 & \frac{1}{R_3 C_3} & -\frac{1}{R_3 C_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_2 C_1} & 0 \\ 0 & \frac{1}{R_3 C_2} \\ 0 & -\frac{1}{R_3 C_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix}$$

W tym przypadku macierz A ma postać

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 C_1} & \frac{1}{R_2 C_1} & 0 \\ \frac{1}{R_2 C_2} & -\frac{R_2 + R_3}{R_2 R_3 C_2} & \frac{1}{R_3 C_2} \\ 0 & \frac{1}{R_3 C_3} & -\frac{1}{R_3 C_3} \end{bmatrix}$$

i spełnia warunki (9), a więc jest macierzą cykliczną dla dowolnych wartości rezystancji R_1, R_2, R_3 i pojemności C_1, C_2, C_3 .

Zauważmy, że jeżeli obwód będzie miał strukturę taką, że każde oczko ma gałęzie wspólne co najwyżej z dwoma sąsiednimi oczkami, to możemy tak wybrać zmienne stanu, aby był spełniony warunek (9). W tym przypadku macierz A będzie macierzą cykliczną.

4. Normalność

Macierz transmitancji (2) układu (1) można zawsze napisać w postaci standardowej (3). Jeżeli $m > p$ i rząd $C = p$, to $r =$ rząd $P(s) = p$, a postać Smitha (4) macierzy $P(s)$ jest równa

$$(10) \quad \begin{aligned} P_s(s) &= U(s)P(s)V(s) = \\ &= \begin{bmatrix} i_1(s) & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & i_2(s) & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & i_p(s) & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \in R^{p \times m}[s] \end{aligned}$$

gdzie $U(s) \in R^{p \times p}[s]$ i $V(s) \in R^{m \times m}[s]$ są macierzami unimodularnymi działań elementarnych odpowiednio na wierszach i kolumnach.

Z zależności (10) i (4) wynika następująca postać kanoniczna McMillana macierzy $T(s)$ [3]

$$(11) \quad T_M(s) = \frac{P_s(s)}{d(s)} = \frac{U(s)P(s)V(s)}{d(s)} =$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{n_1(s)}{q_1(s)} & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{n_2(s)}{q_2(s)} & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{n_p(s)}{q_p(s)} & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \in R^{p \times m}(s)$$

gdzie $\frac{i_k(s)}{d(s)} = \frac{n_k(s)}{q_k(s)}$ dla $k = 1, \dots, p$ ($n_1(s) = i_1(s)$),

$q_1(s) = d(s)$), $n_k(s)$ i $q_k(s)$ są względnie pierwszymi wielomianami takimi, że $n_k(s) | n_{k+1}(s)$ oraz $q_{k+1}(s) | q_k(s)$, $k = 1, \dots, p-1$, a $R^{p \times m}(s)$ jest zbiorem macierzy wymiernych o wymiarach $p \times m$.

Wielomian

$$(12) \quad q(s) = q_1(s)q_2(s)\dots q_p(s)$$

nazywamy wielomianem McMillana macierzy $T(s)$.

Z zależności (11)-(12) wynika, że $\deg q(s) \geq \deg d(s)$ (deg. oznacza stopień) oraz

$$(13) \quad q(s) = d(s) \text{ wtedy i tylko wtedy, gdy}$$

$$q_k(s) = 1 \text{ dla } k = 2, \dots, p \text{ i } q_1(s) = d(s)$$

Twierdzenie 4. Niech $\min(m, p) \geq 2$ oraz $T(s)$ ma postać (3). Macierz $T(s)$ jest macierzą normalną wtedy i tylko wtedy, gdy $q(s) = d(s)$.

Dowód tego twierdzenie jest podany w [2,5].

Przykład 4. Pisząc macierz transmitancji

$$(14) \quad T(s) = \frac{1}{2s+1} \begin{bmatrix} 2 & 0 & 3 \\ -s & 2s+1 & s^2-s \end{bmatrix}$$

w postaci (3) otrzymamy $d(s) = 2s+1$ oraz

$$(15) \quad P(s) = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 3 \\ -s & 2s+1 & s^2-s \end{bmatrix}$$

Postać kanoniczna Smitha macierzy (15) jest równa

$$P_s(s) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2s+1 & 0 \end{bmatrix}$$

a postać McMillana macierzy (14)

$$T_M(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{2s+1} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

W tym przypadku $q(s) = d(s) = 2s+1$.

Łatwo sprawdzić, że minory

$$M_{12} = \begin{vmatrix} 2 & 0 \\ -s & 2s+1 \end{vmatrix} = 2(2s+1),$$

$$M_{13} = \begin{vmatrix} 2 & 3 \\ -s & s^2-s \end{vmatrix} = 2s^2 + s,$$

$$M_{23} = \begin{vmatrix} 0 & 3 \\ 2s+1 & s^2-s \end{vmatrix} = -3(2s+1)$$

dzielią się bez reszty przez $d(s)$. Macierz (14) jest więc macierzą normalną.

Przykład 5. Pisząc macierz transmitancji

$$(16) \quad T(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{s+1} & 0 \\ 0 & \frac{1}{(s+1)^2} \\ 0 & \frac{1}{s+1} \end{bmatrix}$$

w postaci (3) otrzymamy $d = (s+1)^2$ oraz

$$(17) \quad P(s) = \begin{bmatrix} s+1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & s+1 \end{bmatrix}$$

Postać Smitha macierzy (17) jest równa

$$P_S(s) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & s+1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

a postać McMillana macierzy (16)

$$T_M(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{(s+1)^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{s+1} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

W tym przypadku $q(s) = (s+1)^3 \neq d(s) = (s+1)^2$.

Minor $\begin{vmatrix} s+1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$ macierzy (17) nie dzieli się bez reszty przez $d(s)$. Macierz

(16) nie jest więc macierzą normalną.

W pracy [2] podano nietrywialne przykłady obwodów normalnych i nienormalnych oraz wykazano, że ten sam obwód dla pewnych wartości parametrów (rezystancji i pojemności) jest obwodem normalnym, a dla innych wartości tych parametrów nie jest obwodem normalnym.

5. Wpływ sprzężenia zwrotnego na cykliczność i normalność macierzy

Weźmy pod uwagę standardowy układ (1) ze sprzężeniem zwrotnym od wektora stanu o postaci

$$(18) \quad u = v + Kx$$

gdzie $v \in R^m$ i $K \in R^{m \times n}$ jest macierzą wzmocnień.

Podstawiając (18) do (1a) otrzymamy

$$(19) \quad \dot{x} = (A + BK)x + Bv$$

Macierz transmitancji układu zamkniętego ma postać

$$(20) \quad T_c(s) = C[I_n s - (A + BK)]^{-1} B$$

Zadanie normalizacji macierzy transmitancji za pomocą sprzężeń zwrotnych od wektora stanu można sformułować następująco. Dany jest układ standardowy (1) z macierzą A niecykliczną i parą (A, C) nieobserwowalną. Należy wyznaczyć macierz K tak, aby macierz transmitancji układu zamkniętego (20) była normalna.

Twierdzenie 5. Niech rząd układu $n > 2$. Jeżeli para (A, b) układu o jednym wejściu ($m = 1$) jest sterowalna, to istnieje macierz sprzężeń zwrotnych k od wektora stanu taka, że macierz układu zamkniętego $A_z = A + bk$ jest cykliczna wtedy i tylko wtedy, gdy macierz A jest również cykliczna. Jeżeli para (A, B) układu o wielu wejściach ($m > 1$) jest sterowalna i macierz A nie jest cykliczna, to istnieje macierz sprzężeń zwrotnych K od wektora stanu taka, że macierz układu zamkniętego $A_z = A + BK$ jest cykliczna.

Twierdzenie 6. Niech macierz A układu (1) będzie niecykliczna i para (A, C) nieobserwowalna. Wtedy istnieje macierz K taka, że macierz transmitancji (20) jest normalna wtedy i tylko wtedy, gdy para (A, B) jest sterowalna.

Dowód tego twierdzenia i procedura wyznaczania macierzy K są podane w pracy [4].

6. Wnioski i problemy otwarte

W pracy tej podkreślono rolę macierzy cyklicznych i normalnych w modelowaniu układów dynamicznych.

W pracy wykazano, że:

- każdy niezerowy minor stopnia drugiego macierzy wielomianowej $P(s)$, będącej licznikiem macierzy odwrotnej (8), dzieli się bez reszty przez wielomian $d(s)$ wtedy i tylko wtedy, gdy wielomian charakterystyczny jest równy wielomianowi minimalnemu macierzy A ;
- każdy niezerowy minor stopnia drugiego macierzy wielomianowej $P(s)$, będącej licznikiem macierzy transmitancji (3) dzieli się bez reszty przez wielomian $d(s)$ wtedy i tylko wtedy, gdy wielomian $d(s)$ jest równy wielomianowi McMillana macierzy $T(s)$;
- jeżeli para (A, b) układu o jednym wejściu jest sterowalna, to istnieje macierz sprzężeń zwrotnych od stanu taka, że macierz układu zamkniętego jest cykliczna wtedy i tylko wtedy, gdy A jest również cykliczna;

- jeżeli para (A,B) układu o wielu wejściach jest sterowalna i macierz A nie jest cykliczna, to istnieje macierz sprzężeń zwrotnych taka, że macierz układu zamkniętego jest cykliczna.

Problemem otwartym jest uogólnienie tych rozważań na układy dwuwymiarowe oraz układy z opóźnieniami.

LITERATURA

- [1] T. Kaczorek, Wektory i Macierze w Automatyce i Elektrotechnice, WNT Warszawa, 1998.
- [2] T. Kaczorek, Podzielność w obwodach elektrycznych minorów stopnia drugiego macierzy licznika, macierzy transmitancji przez jej mianownik, Przegląd Elektrotechniczny, 12, 2001, str. 297-302.
- [3] T. Kaczorek, Teoria Sterowania i Systemów, PWN Warszawa 1999.
- [4] T. Kaczorek, Normalization of Transfer Matrix of Linear Systems by Feedbacks, Control and Cybernetics, No 1, vol. 31, 2002, str. 67-78.
- [5] T. Kaczorek, Influence of State-Feedback on Cyclicity of Linear Systems, Konferencja Naukowo-Techniczna "Automation 2002", Warszawa, 20-22 marca 2002, str. 81-93.
- [6] T. Kaczorek, Divisibility of Second Order Minors of Cyclic Matrices and Transfer Matrices of Linear Systems, Konferencja „Zastosowanie Komputerów w Elektrotechnice”, Kiekrz, 22-24.04.2002, str. 11-14.
- [7] B. Lampe and E. Rosenwasser, Algebraic Properties of Irreducible Transfer Matrices, Avtomatika i Telemekhanika, N 7, 2000, pp. 31-43 (po rosyjsku) (Angielskie tłumaczenie: Automation and Remote Control, vol. 61, N 7, Pt. I, 2000, str. 1091-1102.
- [8] E. N. Rosenwasser and B. P. Lampe, Algebraische Methoden zur Theorie der Mehrgrößen – Abtastsysteme, Universität Rostock, 2000.

Uchwała nr 99/XLV/2004
Senatu Politechniki Warszawskiej

z dnia 28.01.2004 r.

w sprawie nadania tytułu doktora honoris causa przez Politechnikę Lubelską

Senat Politechniki Warszawskiej, po zapoznaniu się z dorobkiem naukowym profesora Tadeusza Kaczorka postanawia poprzeć inicjatywę nadania Mu tytułu doktora honoris causa Politechniki Lubelskiej.

Sekretarz Senatu

Rektor

dr Teresa Kotaszewicz

prof. dr hab. inż. Stanisław Mańkowski

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Malinowski
Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych
Politechniki Warszawskiej

7 stycznia 2004 r.

Opinia
dla Senatu Politechniki Warszawskiej, wspierająca inicjatywę
Politechniki Lubelskiej nadania Prof. dr hab. inż. Tadeuszowi
Kaczorkowi tytułu doktora honoris causa tej Uczelni.

Profesor Tadeusz Kaczorek, urodzony w 1932 r., należy do grona wybitnych profesorów Politechniki Warszawskiej. W swojej specjalności - teorii sterowania i systemów - jest uznanym w naukowej społeczności światowej autorytetem, powszechnie cenionym najwyższej klasy specjalistą, szczególnie w zakresie teorii liniowych układów dynamicznych.

Studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej Tadeusz Kaczorek ukończył w 1956 roku, uzyskując tytuł magistra inżyniera elektryka w specjalności automatyka. Już w trakcie studiów powołany został na stanowisko asystenta stażysty w Katedrze Teorii Elektrotechniki w 1954 r. Po uzyskaniu stopnia doktora w 1962 r. mianowany został na stanowisko adiunkta. W 1964 r. otrzymał stopień doktora habilitowanego i podjął pracę w Katedrze Podstaw Elektroniki i Automatyki na Wydziale Elektrycznym. W 1965 roku powołany został na stanowisko docenta i jednocześnie powierzono Mu kierowanie katedrą. W 1971 roku otrzymał tytuł profesora nadzwyczajnego, zaś w 1974 r. tytuł profesora zwyczajnego. Od 1970 do 2002 r. kierował Zakładem Teorii Sterowania na Wydziale Elektrycznym.

Główne kierunki zainteresowań naukowych Profesora dotyczą matematycznych metod analizy i syntezy układów elektrycznych, wielomianowych metod syntezy układów liniowych, sterowalności i obserwowalności tych układów, projektowania układów śledzących z uchybem zerowym osiąganym po czasie skończonym oraz analizy i budowy regularnych i singularnych układów z dwuwymiarowym, a następnie

wielowymiarowym wektorem zmiennych niezależnych, czyli tzw. układów 2D i MD. W ostatnich latach Profesor zainicjował nowy kierunek badań poświęcony dodatnim układom dwuwymiarowym ciągłym i dyskretnym oraz nowym klasom obserwatorów dla układów jedno i wielowymiarowych. Jest wybitnym znawcą i twórcą wielu metod wykorzystujących rachunek macierzowy i własności macierzy. Jego osiągnięcia naukowe zostały uznane i są wysoko cenione w kraju i poza granicami. Świadczą o tym liczne zaproszenia dla Profesora do wygłaszania wykładów na uniwersytetach w Europie, Stanach Zjednoczonych, Kanadzie, Azji i Australii, a także do prezentowania referatów plenarnych na najważniejszych konferencjach i kongresach naukowych.

Profesor T. Kaczorek posiada ogromny dorobek publikowany, wyrażający się liczbą szesnastu książek i monografii oraz ponad sześciuset artykułów i rozpraw naukowych. Do pozycji o zasięgu światowym, które wywarły i nadal wywierają znaczący wpływ na kierunki badań, zaliczyć trzeba w szczególności monografię „Two-Dimensional Linear Systems” wydaną przez Springera w 1985 roku i wyróżnioną Nagrodą Państwową II stopnia, dwutomową monografię „Linear Control Systems” wydaną w latach 1992-93 przez Research Studies Press i J. Wiley'a oraz opublikowaną przez wydawnictwo Springer w 2002 roku monografię „Positive 1D and 2D Systems”. Warto także podkreślić, że Profesor jest autorem kilku rozdziałów w monografiach wieloautorских, prac napisanych na zaproszenie uznanych autorów międzynarodowych i renomowanych wydawców. W 1999 r. w USA ukazał się nakładem CRC Press i IEEE Press „Comprehensive Dictionary of Electrical Engineering”, którego T. Kaczorek był współautorem oraz redaktorem działu poświęconego teorii sterowania.

Można często spotkać się z poglądem, że o osiągnięciach profesora uczelni akademickiej w większym nawet stopniu niż liczba własnych publikacji świadczą jego wychowankowie i ich kariery. Dorobek Profesora T. Kaczorka jako twórcy uznanej szkoły naukowej i promotora działalności badawczej jest nie mniej - a może nawet bardziej - imponujący, niż Jego wielki dorobek opublikowany. Profesor był promotorem w pięćdziesięciu dziewięciu ukończonych przewodach doktorskich. Spośród grona Jego wychowanków dwudziestu zostało profesorami wyższych uczelni, w tym trzynastu za granicą, w większości w Stanach Zjednoczonych i Anglii. Można więc, jak sądzę, mówić o promieniowaniu szkoły naukowej Profesora na wiele ośrodków krajowych i zagranicznych, o jej znaczącym wpływie na rozwój teorii sterowania w skali światowej. Warto w tym miejscu podkreślić stałą dbałość Profesora o rozwój naukowy swoich współpracowników, Jego wielką

zyczliwość dla ich poczynań i pomoc okazywaną zarówno im jak również i innym osobom.

Wspominając o głównych osiągnięciach prof. T. Kaczorka nie można pominąć jego działalności dydaktycznej, prowadzonej nieprzerwanie od pięćdziesięciu lat, nie pamiętać o cieszących się niesłabnącym zainteresowaniem Jego wykładach dla kilku już pokoleń studentów i doktorantów, o stale prowadzonych seminariach, a także o uznanych podręcznikach i skryptach.

Pracy naukowej i dydaktycznej Profesora towarzyszyła zawsze działalność na rzecz środowiska akademickiego w Politechnice Warszawskiej, a także w szerszym wymiarze, na rzecz środowiska naukowego w Kraju i poza jego granicami. Prof. T. Kaczorek sprawował przez wiele lat funkcję dyrektora Instytutu Sterowania i Elektroniki Przemysłowej na Wydziale Elektrycznym, był Dziekanem tego Wydziału. Sprawował w kadencji 1970-1973 funkcję prorektora naszej Uczelni ds. nauczania. Przez wiele lat, do chwili obecnej, organizuje i prowadzi seminarium naukowe poświęcone prezentowaniu nowych rezultatów badań prowadzonych we wiodących ośrodkach krajowych i zagranicznych. Osobiście cenię sobie bardzo wysoko, że mogłem przez szereg lat współpracować z Profesorem, korzystać z Jego wiedzy, doświadczenia i pomocy przy organizowaniu w Politechnice badań dotyczących zagadnień automatyki i sterowania automatycznego.

W latach 1988-1991 prof. T. Kaczorek był dyrektorem Stacji Naukowej PAN w Rzymie, podejmując na tej placówce szereg działań na rzecz propagowania nauki i kultury polskiej. Uczestniczył w trakcie swej bogatej kariery w pracach komitetów naukowych licznych konferencji międzynarodowych, wielu z tych komitetów przewodniczył. Był i nadal jest członkiem rad programowych szeregu czasopism, obecnie będąc redaktorem serii Technical Sciences Bulletin PAN. Od kilku kadencji prof. T. Kaczorek jest członkiem Centralnej Komisji ds. Tytułu Naukowego i Stopni Naukowych; w obecnej kadencji jest zastępcą przewodniczącego tej Komisji.

Profesor Kaczorek jest członkiem licznych stowarzyszeń i komitetów naukowych. W 1986 r. został wybrany na członka korespondenta Polskiej Akademii Nauk, zaś w 1998 r. został powołany na członka rzeczywistego PAN. Od 1999 r. jest także członkiem Akademii Inżynierskiej w Polsce. Za swe wyróżniające się osiągnięcia otrzymał wiele nagród i odznaczeń, w tym wspomnianą już Nagrodę Państwową II stopnia, trzystaście Nagród Ministra - w tym jedenaście indywidualnych - oraz Złoty Krzyż Zasługi i Krzyż Kawalerski Orderu Odrodzenia Polski.

W 2002 roku Profesor został uhonorowany tytułem doktora honoris causa Uniwersytetu Zielonogórskiego.

Uważam, że przedstawione osiągnięcia Profesora Tadeusza Kaczorka w pełni utwierdzają w przekonaniu, że jest on wybitną osobistością naszego życia akademickiego, a Senat Politechniki Warszawskiej - jego macierzystej placówki - może z wielką satysfakcją powitać i poprzeć inicjatywę Politechniki Lubelskiej nadania Mu tytułu i godności doktora honoris causa tej znamienitej Uczelni.

**Wyciąg z protokołu
Posiedzenia Senatu AGH w dniu 25 lutego 2004 r.
dotyczący nadania tytułu doktora honoris causa Profesorowi
Tadeuszowi Kaczorkowi przez Politechnikę Lubelską**

Prof. R. Tadeusiewicz przedstawił sylwetkę i dorobek naukowy prof. T. Kaczorka. Rektor podkreślił m.in., że Prof. Kaczorek jest naukowcem bardzo znanym i lubianym. Przyczynił się swoimi pracami do rozwoju wielu teoretycznych obszarów związanych z elektrotechniką oraz z automatyką. Rektor podkreślił również, że dorobek naukowy prof. Kaczorka jest bardzo duży w każdym wymiarze Jego działania. Jest autorem 16 książek, opublikował ponad 600 artykułów i rozpraw naukowych. Jest promotorem 59 zakończonych pozytywnie przewodów doktorskich, wśród których kilku jest już obecnie profesorami. Jest to uczony, który stworzył i swoimi pracami naukowymi i pracami w zakresie kształcenia kadr szkołę naukową, bardzo wyrazistą, bardzo zdecydowaną.

Na zakończenie swojego wystąpienia Prof. R. Tadeusiewicz stwierdził, że prof. Kaczorek cieszy się ogromnym autorytetem zarówno w kraju jak i za granicą, dlatego też zdaniem Rektora jest to kandydatura bardzo godna poparcia do nadania Mu godności Doktora Honoris Causa Politechniki Lubelskiej.

Wniosek poparł prof. W. Mitkowski.

Wobec braku dalszych głosów w głosowaniu tajnym, w którym uczestniczyło 68 Senatorów (na 99 uprawnionych do głosowania) jednogłośnie 68 głosów „za” Senat podjął uchwałę nr 57/2004 w sprawie przyjęcia recenzji prof. dr hab. inż. R. Tadeusiewicza do wniosku Politechniki Lubelskiej o nadanie tytułu Doktora Honoris Causa prof. dr hab. inż. Tadeuszowi Kaczorkowi.

Rektor
Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie
prof. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz

Prof. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz

Katedra Automatyki

Akademii Górniczo-Hutniczej

Kraków, 3 lutego 2004 roku

Recenzja

Recenzja niniejsza przedstawiana jest w związku z wnioskiem Senatu Politechniki Lubelskiej, dotyczącym nadania Panu Profesorowi Tadeuszowi Kaczorkowi, Członkowi Rzeczywistemu Polskiej Akademii Nauk, tytułu doktora *honoris causa* tej Uczelni. Wniosek powierzenia AGH zaszczytnego obowiązku opracowania opinii w tej sprawie podjął Senat Politechniki Lubelskiej w dniu 20 listopada 2003 roku, w związku z czym Jego Magnificencja Rektor Politechniki Lubelskiej Prof. dr hab. inż. Józef Kuczmazewski nadesłał do Rektora AGH list datowany 27 listopada 2003 roku, w którym prosi o opinię Senatu AGH do tego wniosku. Formalną podstawą do opracowania niniejszej opinii była wynikająca z tego listu uchwała Senatu Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie nr 48/2004 z dnia 28 stycznia 2004 roku, polecająca opracowanie recenzji wzmiankowanego wniosku w imieniu AGH - niżej podpisanemu. Opinia ta będzie przedłożona Senatowi AGH jako podstawa do wydania opinii, o którą wnioskuje Senat Politechniki Lubelskiej na najbliższym posiedzeniu.

Po ustaleniu przytoczonych wyżej przesłanek formalnych przejdę do merytorycznego zaopiniowania przedłożonego wniosku. Zacznę od stwierdzenia ogólnego, ale bardzo ważnego. Otóż twierdzą, że Profesor Tadeusz Kaczorek jest od wielu lat w polskiej automatyce i elektrotechnice postacią niewątpliwie najwybitniejszą. Nie chodzi mi tu wyłącznie o pozycję i rangę naukową, chociaż są to także argumenty, które także trzeba wziąć pod uwagę. Tak więc zaczynając od stwierdzenia faktów ogólnie znanych pozwolę sobie odnotować, że Kandydat jest Uczonym o szeroko znanym i aprobowanym autorytecie, czego wyrazem jest długa kolekcja godności, jakie ogólnopolska społeczność naukowa nadała prof. Kaczorkowi. Jest on od 1986 roku członkiem (z wyboru!) Polskiej Akademii Nauk, w ramach której w latach 1988-1991 pełnił funkcję Dyrektora Stacji Naukowej PAN w Rzymie. Od 1998

członek rzeczywisty PAN, od 1999 roku członek Akademii Inżynierskiej w Polsce, od wielu lat członek, a obecnie także wiceprzewodniczący Centralnej Komisji ds. Stopni Naukowych i Tytułu Naukowego - jest prof. Kaczorek ogólnie znany (i ceniony!) jako „sumienie polskiej nauki”.

Obok scharakteryzowanej wyżej permanentnej pozycji w Polskiej Akademii Nauk oraz okresowej pracy w Centralnej Komisji ds. Stopni Naukowych i Tytułu Naukowego prof. Kaczorek pełnił także szereg wybieralnych funkcji kierowniczych, dowodzących, jak dużym poważaniem i zaufaniem cieszy się On wśród warszawskiej i ogólnopolskiej społeczności naukowej. Spośród wielu takich funkcji na szczególnie wyróżnienie zasługują moim zdaniem następujące: piastowane na Politechnice Warszawskiej funkcje (kolejno) Kierownika Katedry, Dziekana i Prorektora, a następnie Dyrektora Instytutu.

Mimo ogromnego osobistego dorobku naukowego i wybitnej pozycji międzynarodowej prof. Kaczorek jest szeroko znany jako życzliwy i chętny do pomocy nauczyciel, czego efektem jest między innymi to, iż wystąpił On jako promotor aż 59 zakończonych przewodów doktorskich. Fakt ten dowodzi, jak inspirujący i kreatywny jest Jego wkład w kształcenie młodych kadr naukowych. O wielu wybitnych Uczonych mówi się, że stworzyli szkoły naukowe. Profesor Kaczorek stworzył tak wiele różnych szkół naukowych (z których większość znakomicie rozwija się do dzisiaj!), że wystarczyłoby tego na przynajmniej tuzin życiorysów.

Charakteryzując własne osiągnięcia i sylwetkę naukową prof. Tadeusza Kaczorka trzeba w pierwszej kolejności podkreślić, jak ogromny jest Jego dorobek naukowy, na który składa się wiele **fundamentalnych** dla polskiej automatyki i elektrotechniki książek (wznawianych wielokrotnie w kraju tłumaczonych na wiele języków) a także wręcz trudna do policzenia mnogość publikacji naukowych, głównie w renomowanych czasopismach naukowych lub w materiałach znanych konferencji naukowej. Dorobek ten, do charakterystyki którego jeszcze dalej w tej opinii powrócę, jest tak bogaty z dwóch powodów. Powód pierwszy to niesłychana kreatywność Profesora Kaczorka. Przeglądając Jego dorobek można ze zdumieniem i z podziwem stwierdzić, że wbrew utartym opiniom jeden Człowiek potrafi osiągnąć poziom najwyższego mistrzostwa naukowego i zawodowego w wielu odległych od siebie, a często wręcz zupełnie różnych dziedzinach nauki. W swoim długim i niesłychanie pracowitym życiu prof. Kaczorek zajmował się analizą i syntezą układów elektrycznych o parametrach zdeterminowanych i losowych, wielomiarowymi metodami syntezy układów liniowych, sterowalnością

i obserwowalnością, przesuwaniem biegunów, syntezą układów śledzących z zerowym uchybem po skończonym czasie, regularnymi i singularnymi układami dwu i wielowymiarowymi, liniowymi i biliniowymi i wieloma podobnymi zagadnieniami o wysokim stopniu formalizacji oraz o podstawowym znaczeniu dla wielu obszarów elektrotechniki oraz automatyki.

W wymiarze ilościowym dorobek prof. Kaczorka jest niewiarygodnie duży. Składa się na ten dorobek 16 książek i ponad 600 artykułów i rozpraw naukowych opublikowanych w najpoważniejszych czasopismach krajowych i zagranicznych. Jest godne najwyższego podziwu, jak jeden Człowiek mógł zrobić tak wiele w tak wielu dziedzinach, do każdej z nich wnosząc w dodatku swój znaczący i niesłychanie **inspirujący** wkład. Na szczególne wyróżnienie w tym bogatym dorobku zasługuje monografia „Two-Dimensional Linear Systems”, wydana przez wydawnictwo Springera w 1985 roku, która przyczyniła się znacząco do podniesienia poziomu badań naukowych w dziedzinie teorii obwodów i teorii sterowania w Polsce i za granicą. Nic dziwnego, że po takim sukcesie naukowym prof. Kaczorek był wielokrotnie zapraszany jako „invited professor” do wielu czołowych uniwersytetów na całym świecie, a także uczestniczył jako członek komitetów naukowych lub/i jako zapraszany prelegent w licznych konferencjach naukowych. Podsumowując ten wątek można śmiało stwierdzić, że w polskiej nauce trudno by było znaleźć Uczzonego o **porównywalnym** dorobku, zaś z całą pewnością nie uda się znaleźć nikogo, kto mógłby się poszczycić dorobkiem większym.

Niesłychanie bogata jest też karta osiągnięć dydaktycznych Profesora Kaczorka, na którego podręcznikach i wspianych wykładach (sławnych na całą Polskę!) wychowało się wiele pokoleń polskich automatyków i elektryków, w tym wiele osób piastujących dziś funkcje profesorów lub bardzo wysokie stanowiska w przemyśle i w gospodarce. Umiejętność znajdowania odpowiednich ludzi i stawiania im odpowiednich zadań to jeden z licznych Darów, jakie Profesor Kaczorek posiada i z jakich robi znakomity użytek - dla ogromnego pożytku nauki polskiej i światowej. Bezspornie Profesor potrafi sprawiać, by ludzie w Jego otoczeniu rośli i osiągnęli doskonałość, zaś czynnikiem indukującym ich rozwój był bezsporny autorytet i wzór Mistrza.

Jednak nie ten dorobek, chociaż bezspornie bardzo duży, ani nie te zaszczyty, chociaż bardzo liczne i bardzo zasłużone, są zasadniczym argumentem, dla którego z całym przekonaniem i bardzo zdecydowanie będę w tej recenzji popierał wniosek o nadanie Kandydatowi zaszczytnego tytułu

doktora *honoris causa* Politechniki Lubelskiej. Głównym i podstawowym powodem tak zdecydowanego poparcia wniosku jest dla mnie fakt, że prof. Kaczorek, jak chyba żaden inny z żyjących polskich elektryków i automatyków, **cieszy się ogromnym krajowym i międzynarodowym autorytetem**. Miarą tego autorytetu naukowego Kandydata i Jego dominującej pozycji wśród innych polskich specjalistów są liczne odznaczenia i nagrody: wspomniana wyżej Nagroda Państwowa za słynną monografię, kilkunastokrotnie przyznawane nagrody Ministra Edukacji Narodowej, liczne Nagrody Rektora Politechniki Warszawskiej i *last but not least* tytuł Doktora Honoris Causa Uniwersytetu Zielonogórskiego.

Wymienione wysokie funkcje naukowe a także osiągnięcia badawcze, scharakteryzowane wyżej głównie ilościowo, nie stanowią jedynych, ani nawet tylko najważniejszych czynników, jakie chciałbym wziąć pod uwagę w tej recenzji. W sprawie tak specyficznej, jak kandydowanie do godności doktora honorowego nie wystarczy bowiem sam tylko dorobek badawczy (wyrażający się nawet największą liczbą opublikowanych osiągnięć twórczych) oraz nawet największa kolekcja godności naukowych. Oczywiście osiągnięcia naukowe są tu w pewnym sensie warunkiem koniecznym, a fakty dotyczące częstego wybierania Kandydata na najbardziej dostojne stanowiska i funkcje dają także pewien obraz Jego sylwetki, jednak dla uzasadnienia, że ten właśnie Uczony zasługuje na tę właśnie najwyższą godność akademicką - konieczna jest dodatkowa, pogłębiona analiza.

Dla uzyskania takiej pogłębionej analitycznej recenzji dokonam teraz wnikliwszego przeglądu **niektórych** dokonań prof. Kaczorka oraz odniosę się w sposób bardziej personalny do wzmiankowanych wyżej świadectw Jego bezspornego autorytetu naukowego, twierdząc bowiem, że przytoczone wcześniej dane statystyczne, chociaż bezspornie prawdziwe, nie eksponują jednak prawdziwej istoty tego przebogatego dorobku, który Kandydat zdołał zgromadzić w specyficznym obszarze pogranicza elektrotechniki i automatyki. Główne zasługi prof. Kaczorka umieściłbym bowiem w tym, co skłonny byłbym nazwać generowanym przez Dostojnego Kandydata czynnikiem wzrostu i rozwoju całej polskiej nauki. Nie chodzi mi tu wyłącznie o to, że wypromował On ponad pięćdziesięciu doktorów, z których wielu piastuje obecnie funkcje profesorów. To jest bez wątpienia imponujące osiągnięcie oraz ważna przesłanka, ale zdecydowanie nie jedyna. Spróbuję więc moją myśl przedstawić na nieco szerszym tle.

Uważam, że w nauce istnieją liczni „wyrobnicy” - ludzie którzy prowadzą badania, gromadzą fakty, zdobywają stopnie, tytuły i inne godności naukowe,

jednak wszystko to jest w skali jednostkowej, indywidualnej, lokalnej. Od czasu do czasu zdarzają się jednak w nauce także prawdziwi Mistrzowie. Mają oni oczywiście także indywidualny własny dorobek, jednak nie on jest tym, co jest w dziele ich życia szczególnie cenne. Zasadnicze wartości dzieła Mistrza polegają na tym, co deponuje On w umysłach swoich uczniów, w tym, do czego ich pobudza, ku czemu skłania, co w nich wyzwala.

Twierdzę, że prof. Kaczorek **jest** właśnie takim typem Mistrza, a Jego dzieło życia, które chciałbym teraz nieco scharakteryzować, nie polega wyłącznie na tym, co On sam zrobił i osiągnął, ale zasadza się głównie w tym, co dzięki Niemu (i tylko dzięki Niemu!) zrobili i osiągnęli inni. Charakterystyka ta będzie wycinkowa, niepełna oraz wysoce subiektywna, ale jako jeden z tych polskich badaczy, którzy w znacznej mierze „wychowali się” na wspaniałych podręcznikach i błyskotliwych pracach naukowych prof. Kaczorka, zawdzięczając Kandydatowi inspirację dla wielu własnych badań i osiągnięć, nie mogę podchodzić do tego dorobku wyłącznie w sposób chłodny i obiektywny. Po prostu dla mnie prof. Kaczorek jest także Moim Mistrzem i dlatego nieco emocjonalnie, lecz mimo to konkretnie i rzeczowo, spróbuję wskazać, na czym moim zdaniem - polega doniosłość Jego dzieła. Otóż niezliczona i trudna do przecenienia jest skala osiągnięć prof. Kaczorka w wielkim i trudnym dziele inspirowania naukowego innych badaczy. Jest kilka przyczyn tego stanu rzeczy. W pierwszej kolejności trzeba tu wskazać na prawdziwie pionierski charakter podejmowanych przez Kandydata tematów i zagadnień naukowych. Wiele dziedzin w Polsce swój najwcześniejszy rozwój zawdzięcza właśnie temu, że przed laty prof. Kaczorek swoimi pracami niejako „otworzył drzwi” i zachęcił innych do tego, by podejmowali w tych obszarach swoje badania. Przykładem takiej dziedziny jest automatyka, w której ja sam zdobywałem moje stopnie i tytuły naukowe. Nigdy nie kryłem, że pierwszy „impuls” kierujący mnie ku tej dziedzinie, pochodził właśnie od prof. Kaczorka, którego znakomite prace na temat najpierw elektrotechniki teoretycznej, a potem automatyki, a zwłaszcza teorii sterowania, w znaczącym stopniu wpłynęły na fakt wyboru przeze mnie właśnie tej tematyki jako jednego z głównych wątków mojej własnej działalności badawczej.

Przytoczony tu mój osobisty przykład byłby mało znaczącym epizodem, gdyby nie fakt, że takich polskich badaczy, których kariera naukowa ukierunkowana została przez prof. Kaczorka, było w przeszłości znacznie więcej. Ja przyznaję się tylko do **pośredniej** inspiracji seriami Jego wspaniałych prac, wiem jednak o tym, że bardzo wielu moich znakomych Kolegów, zwłaszcza wywodzących się z Politechniki Warszawskiej, całą swoją karierę naukową i zawodową związało właśnie z Osobą ocenianego tu

Kandydata do zaszczytnego tytułu Doktora Honorowego Politechniki Lubelskiej. Piękne kariery naukowe i znaczące dokonania tych ludzi (pracujących dzisiaj w wielu polskich i zagranicznych ośrodkach naukowych) zdecydowanie mogą i powinny być wliczone do zasług Profesora Kaczorka. Twierdzę stanowczo opierając się na moim własnym doświadczeniu, że bez Jego inspiracji, opieki naukowej i surowego, wymagającego nadzoru większość tych karier i osiągnięć byłaby po prostu niemożliwa. Dotyczy to także profesorów Politechniki Lubelskiej, która oferując Profesorowi Kaczorkowi zaszczytny (dla obu stron!) tytuł Doktora Honorowego spłaca dług, który narastał w ciągu wielu lat.

Podsumowując moją opinię stwierdzam, że wymienione w niej dokonania i osiągnięcia Kandydata sprawiają, iż mogę z całą odpowiedzialnością stwierdzić, że jest to wybitny Uczony i wspaniały Człowiek. Staralem się to wykazać w całej mojej recenzji. Mógłbym to twierdzenie znacznie obszerniej uzasadnić, powołując się na znacznie liczniejsze Jego zasługi, które także są istotne, chociaż z powodu ograniczonej objętości tej recenzji nie zostały wskazane i wymienione. Jednak stojąc przed zadaniem podobnym do próby wyczerpania oceanu, muszę poprzestać na stwierdzeniach i uwagach, które znalazły się wyżej, a na zakończenie dodam, że jestem wysoce zaszczycony, mogąc z upoważnienia Senatu AGH opiniować i recenzować wniosek Politechniki Lubelskiej o nadanie prof. Kaczorkowi najwyższej godności akademickiej - tytułu doktora *honoris causa*, a wobec ogromnych i bezspornych zalet Kandydata mogę zrobić tylko jedno: stwierdzić, że wniosek ten gorąco i z całym przekonaniem popieram.

Wniosek Wydziału Elektrotechniki i Elektrotechnologii w sprawie wszczęcia postępowania o nadanie tytułu Doktora Honoris Causa Politechniki Lubelskiej profesorowi Tadeuszowi Kaczorkowi

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Kaczorek jest Członkiem Rzeczywistym Polskiej Akademii Nauk. Ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej i z tym Wydziałem oraz Uczelnią związał całe swoje zawodowe życie uzyskując tam stopień doktora (1962 r.), doktora habilitowanego (1964 r.), tytuł profesora nadzwyczajnego (1971 r.) oraz profesora zwyczajnego (1974 r.).

W Politechnice Warszawskiej pełnił szereg funkcji (kierownik katedry, dziekan, prorektor, dyrektor instytutu), jednocześnie angażował się w prace związane z rozwojem współpracujących z Politechniką Warszawską mniejszych uczelni.

W Politechnice Lubelskiej (ówczesnej WSInż.) prowadził wykłady na studiach doktoranckich, pełniąc jednocześnie funkcję promotora rozpraw doktorskich.

Zadziergnięte kontakty podtrzymywane były w formie wielokrotnych wizyt z prelekcjami np. dotyczącymi poprawności w procedurach związanych z wnioskami profesorskimi, rozprawami doktorskimi i habilitacyjnymi prowadzonymi przez Centralną Komisję ds. Stopni Naukowych i Tytułu Naukowego. Jego wykłady w Politechnice Lubelskiej z zakresu teorii sterowania cieszyły się wielkim uznaniem i powodzeniem. Jak nikt inny potrafił mówić w sposób jasny i w pełni zrozumiały o zawiłościach naukowych przestawianych problemów.

Zainteresowania naukowe Prof. Tadeusza Kaczorka dotyczą matematycznych metod analizy i syntezy układów elektrycznych o parametrach zdeterminowanych i losowych, wielomianowymi metodami syntezy układów liniowych, sterowalnością i obserwowalnością tych układów, synteza układów śledzących z zerowym uchybem po skończonym czasie, regularnymi i singularnymi układami dwu- i wielowymiarowymi liniowymi i biliniowymi. Jego prace dotyczące rachunku macierzowego i własności macierzy należą do wybitnych.

Prof. Tadeusz Kaczorek publikuje (ponad 600 prac) w najznakomitszych czasopismach krajowych i zagranicznych. Spośród 16 wydanych książek traktujących o wielu dziedzinach elektrotechniki – każda wnosi znaczący

i inspirujący wkład w rozwój naukowy omawianej problematyki, a szczególnie uznanie uzyskały wydane w 1985 r. przez wydawnictwo Springera monografia „Two-Dimensional Linear Systems”, „Linear Control Systems” wydana przez Research Studies Press i J. Wiley’a w r. 1992-3, oraz „Positive 1D and 2D Systems” wydane w r. 3002 przez wydawnictwo Springera.

Profesor T. Kaczorek jest twórcą uznanej w Polsce i świecie szkoły naukowej w zakresie teorii sterowania, wypromował 59 doktorów, spośród których 20 jest profesorami wyższych uczelni, w tym 13 za granicą. W okresie pięćdziesięcioletniej pracy naukowej i dydaktycznej w Politechnice Warszawskiej pełnił funkcje akademickie Dyrektora Instytutu Sterowania i Elektroniki Przemysłowej na Wydziale Elektrycznym, Dziekana tego Wydziału i Prorektora Politechniki Warszawskiej. Był wielokrotnie zapraszany do wygłaszania wykładów w wielu uniwersytetach Europy, Stanów Zjednoczonych, Kanady, Azji oraz prezentował plenarne referaty na licznych światowych konferencjach naukowych. W latach 1988-1991 prof. T. Kaczorek był Dyrektorem Stacji Naukowej PAN w Rzymie. Profesor jest członkiem wielu stowarzyszeń i komitetów naukowych oraz rad programowych. Jest laureatem wielu nagród, w tym Nagrody Państwowej, trzynastu Nagród Ministra oraz wysokich odznaczeń państwowych. W roku 2002 Profesorowi T. Kaczorkowi tytuł doktora honoris causa nadał Uniwersytet Zielonogórski.

Nadanie Profesorowi Tadeuszowi Kaczorkowi przez Politechnikę Lubelską tytułu Doktora Honoris Causa będzie pewną formą spłacenia długu zaciągniętego przez nasz wydział w ciągu 30 lat współpracy.

Dr hab. inż. Zygmunt Rutka, prof. PL
Dziekan Wydziału Elektrotechniki i Informatyki
Politechniki Lubelskiej

SPIS TREŚCI:

Uchwała Senatu Politechniki Lubelskiej	5
<i>Prof. dr hab. inż. Tadeusz Janowski</i>	
LAUDACJA Matematyczny opis zjawisk i procesów w układach (systemach) elektrycznych podstawowym warunkiem optymalnego wykorzystania ich w praktyce	7
<i>Prof. dr hab. inż. Tadeusz Kaczorek</i>	
WYKŁAD DOKTORA HONORIS CAUSA Rola macierzy cyklicznych i normalnych w modelowaniu układów dynamicznych.....	11
Uchwała nr 99/XLV/2004 Senatu Politechniki Warszawskiej	25
<i>Prof. dr hab. inż. Krzysztof Malinowski</i>	
Opinia dla Senatu Politechniki Warszawskiej, wspierająca inicjatywę Politechniki Lubelskiej nadania Prof. dr hab. inż. Tadeuszowi Kaczorkowi tytułu doktora honoris causa tej Uczelni.	27
Wyciąg z protokołu Posiedzenia Senatu AGH w dniu 25 lutego 2004 r. dotyczący nadania tytułu doktora honoris causa Profesorowi Tadeuszowi Kaczorkowi przez Politechnikę Lubelską	31
<i>Prof. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz</i>	
Recenzja	33
Wniosek Wydziału Elektrotechniki i Elektrotechnologii w sprawie wszczęcia postępowania o nadanie tytułu Doktora Honoris Causa Politechniki Lubelskiej profesorowi Tadeuszowi Kaczorkowi	39
<i>Dr hab. inż. Zygmunt Rutka, prof. PL</i>	