

# Zastosowanie rozproszonych systemów automatyki do sterowania elektrowniami i sieciami wysokich i średnich napięć

dr inż. Grzegorz Błajszczak



16 października 2012 r.  
AGH - Kraków

Zastosowanie rozproszonych systemów automatyki do sterowania elektrowniami i sieciami wysokich i średnich napięć

*plan prezentacji:*

1. Budowa i sposób działania
2. Programowanie i uruchamianie
3. Narzędzia operatorskie
4. Zastosowanie w sieciach
5. Zastosowanie w elektrowniach

2

Zastosowanie rozproszonych systemów automatyki do sterowania elektrowniami i sieciami wysokich i średnich napięć

*plan prezentacji:*

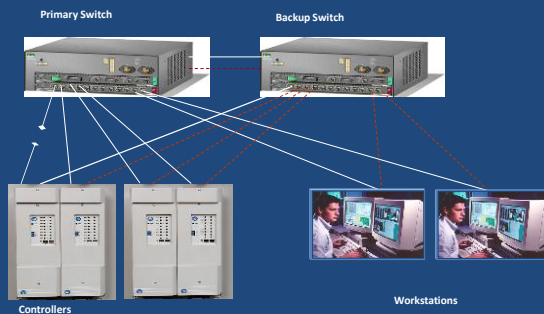
1. Budowa i sposób działania
2. Programowanie i uruchamianie
3. Narzędzia operatorskie
4. Zastosowanie w sieciach
5. Zastosowanie w elektrowniach

3

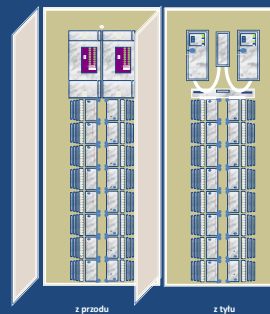
## Budowa i sposób działania rozproszonego systemu automatyki na przykładzie systemu Ovation firmy Emerson

4

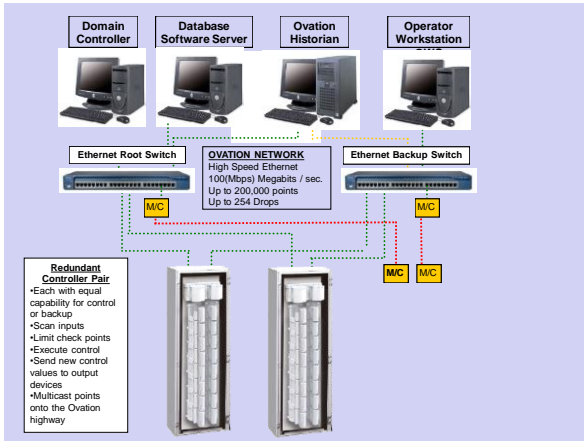
### Budowa systemu Ovation



### Budowa systemu Ovation



DATA ACQUISITION  
MODULATING CONTROL  
SEQUENTIAL CONTROL

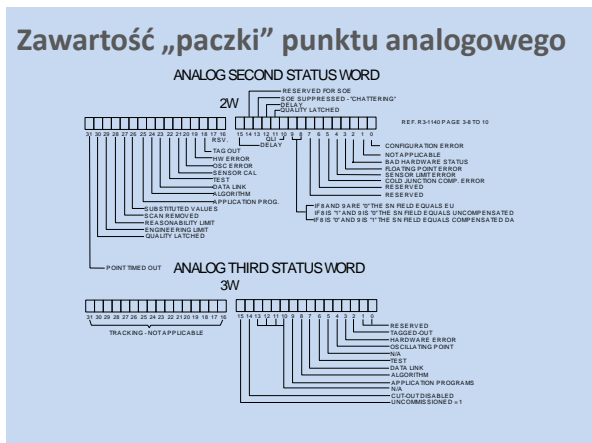
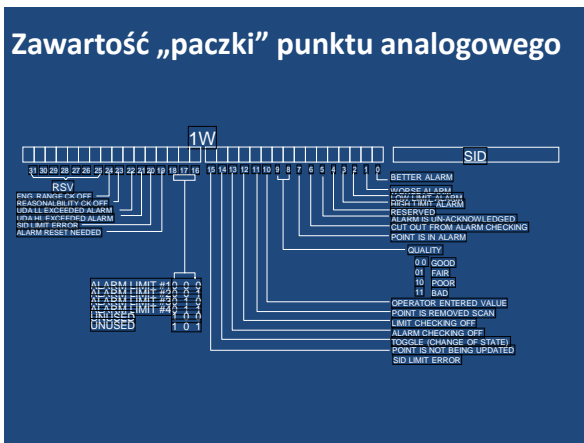
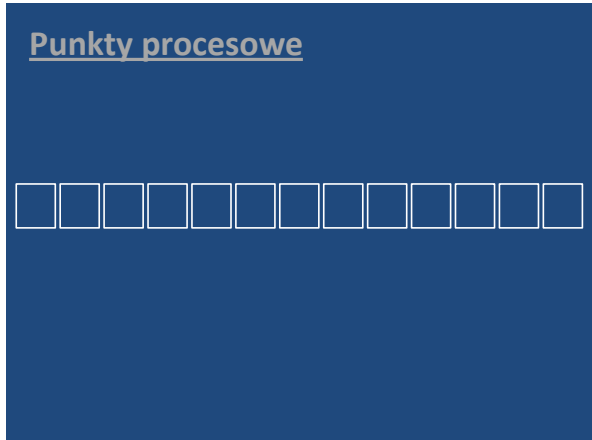


## Budowa systemu Ovation

### Karty wejściowe i wyjściowe

- 16 Channel Digital Input
- 16 Channel Contact Input
- 16 Channel Digital Output
- 4 Channel Analog Output
- 8 Channel Analog Input
- 8 Channel 3 and 4 wire RTD Input
- 2 Channel Pulse Accumulator/Counter
- 16 Channel Sequence of Events
- Single Loop Interface with SLIM
- Datalink Controller
- Speed Sensor
- Servo Driver with Readback
- Valve Positioner
- 8 Channel HART Analog Input
- 4 Channel HART Analog Output
- FF devices

- ## Punkty procesowe
- Analog (two sizes)
    - Long Analog (LA)
    - Deluxe Analog (DA)
  - Digital (two sizes)
    - Long Digital (LD)
    - Deluxe Digital (DD)
  - Packed (two sizes)
    - Long Packed (LP)
    - Deluxe Packed (DP)
  - Packed Digital (one size - PD)
  - Algorithm (one size - LC)
  - Drop (one size - DU)
  - Module (one size - RM)
  - Node (one size - RN)



## Punkty procesowe

### Optimalizacja transmisji

Rekord punktu jest podzielony na cztery obszary:

- Dynamic data
- Static data
- Flash data
- MMI data

Zastosowanie rozproszonych systemów automatyki do sterowania elektrowniami i sieciami wysokich i średnich napięć

plan prezentacji:

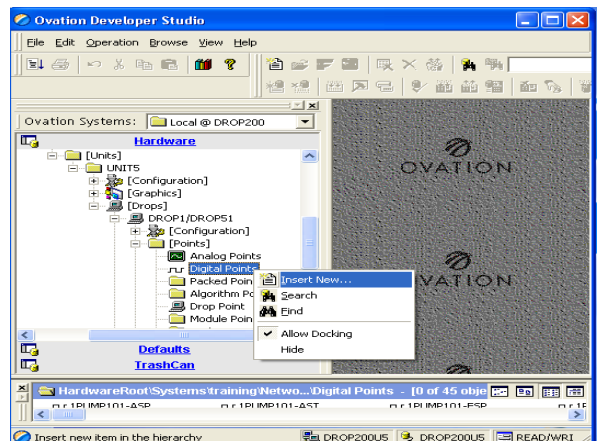
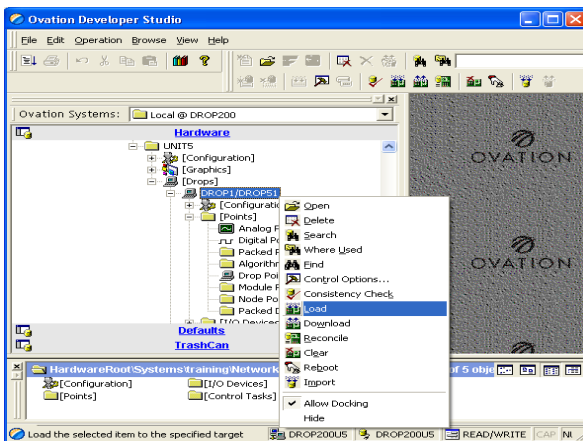
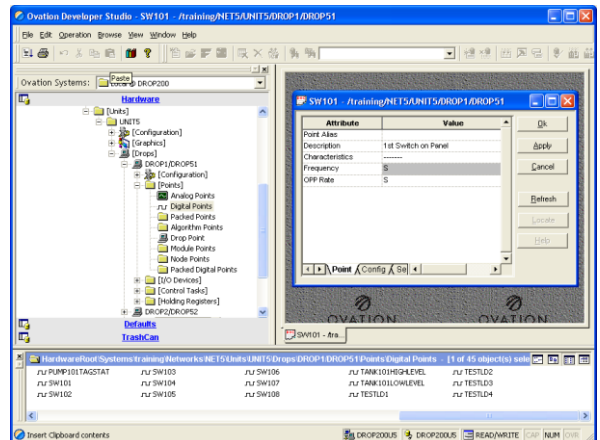
1. Budowa i sposób działania
2. Programowanie i uruchamianie
3. Narzędzia operatorskie
4. Zastosowanie w sieciach
5. Zastosowanie w elektrowniach

14

### Programowanie i uruchamianie

1. Zakładanie punktów procesowych
2. Podłączanie kart wej. i wyj.
3. Budowa schematów sterujących
4. Budowa grafik

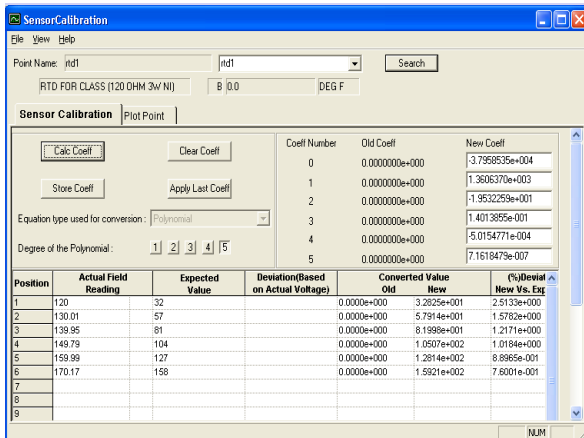
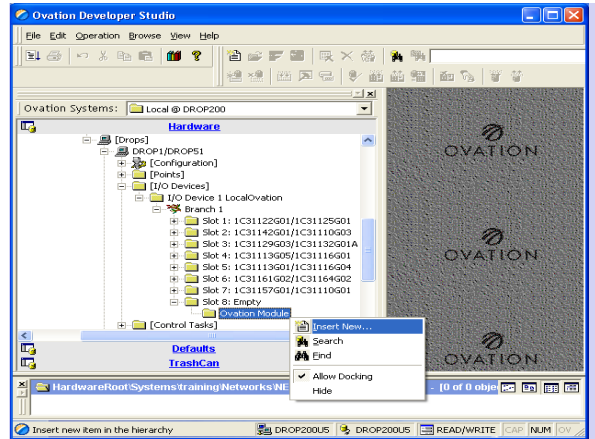
15



## Programowanie i uruchamianie

1. Zakładanie punktów procesowych
2. Podłączanie kart wej. i wyj.
3. Budowa schematów sterujących
4. Budowa grafik

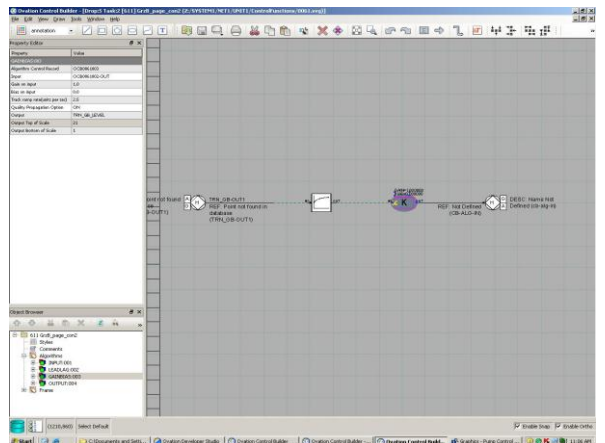
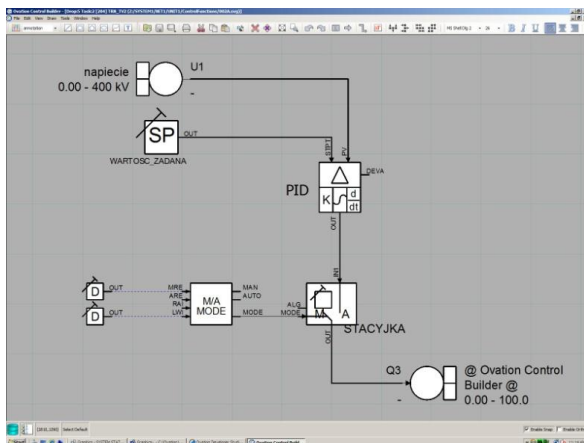
19

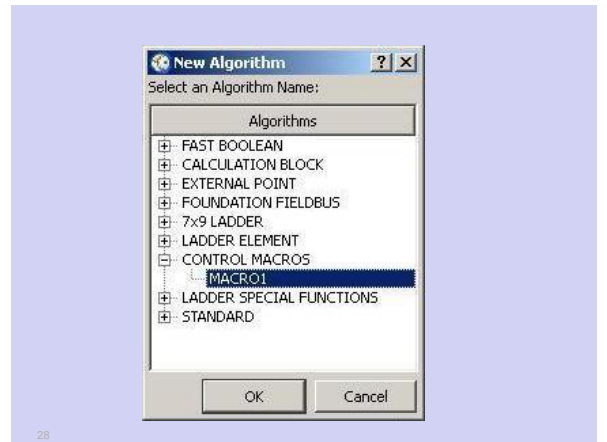
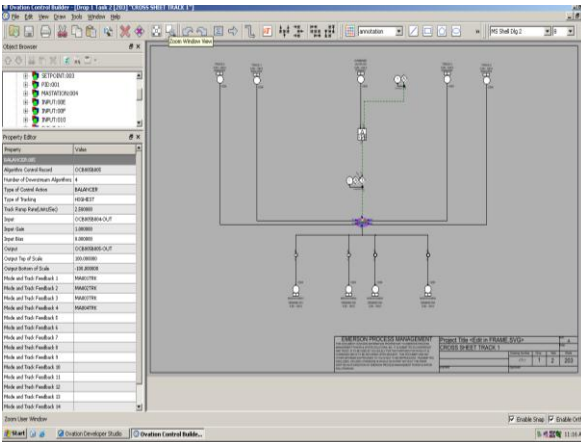
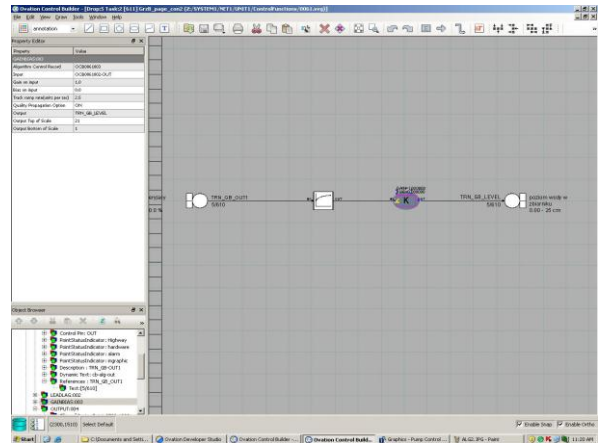
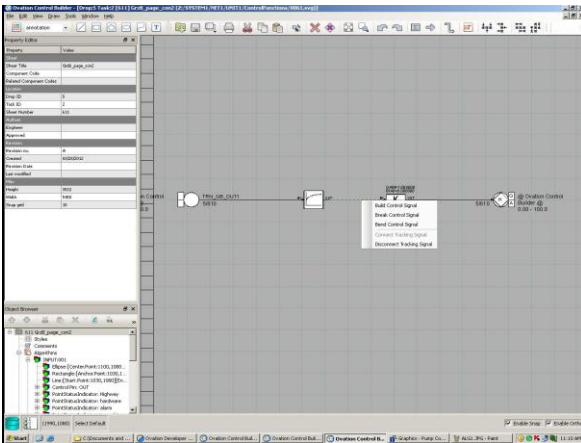


## Programowanie i uruchamianie

1. Zakładanie punktów procesowych
2. Podłączanie kart wej. i wyj.
3. Budowa schematów sterujących
4. Budowa grafik

22





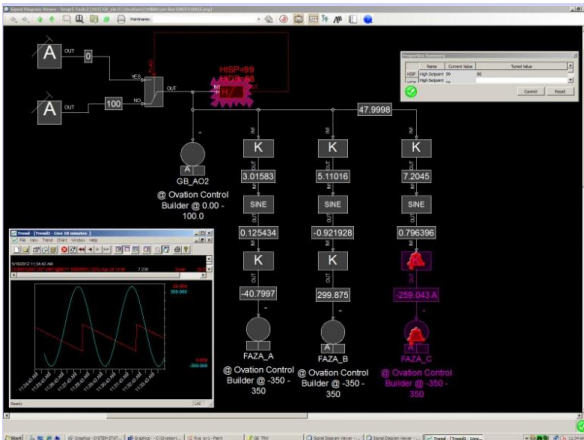
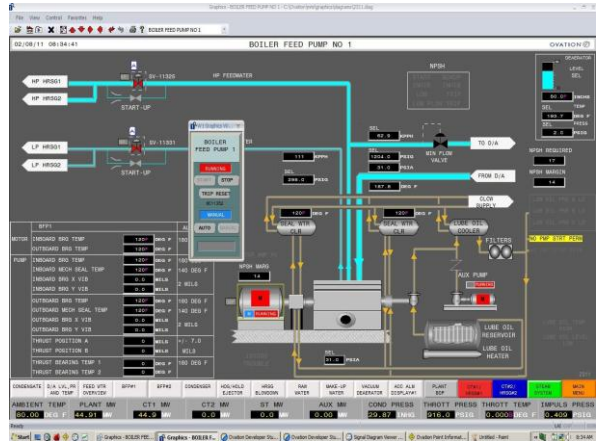
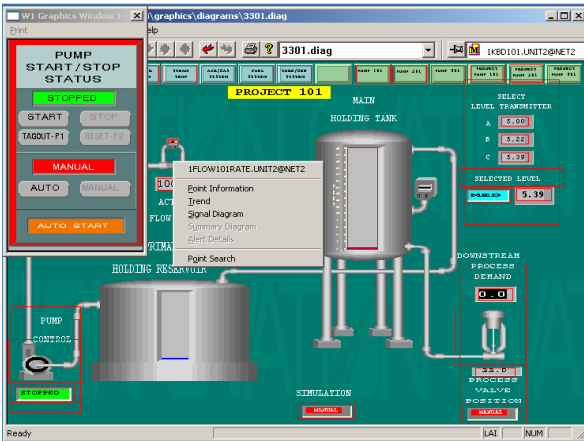
**Programowanie i uruchamianie**

1. Zakładanie punktów procesowych
2. Podłączanie kart wej. i wyj.
3. Budowa schematów sterujących
4. Budowa grafik









**Zastosowanie rozproszonych systemów automatyki do sterowania elektrowniami i sieciami wysokich i średnich napięć**

*plan prezentacji:*

- 1. Budowa i sposób działania**
- 2. Programowanie i uruchamianie**
- 3. Narzędzia operatorskie**
- 4. Zastosowanie w sieciach**
- 5. Zastosowanie w elektrowniach**

46

Regulację napięcia uzyskuje się w dużym stopniu przez zmianę mocy bierniej i kontrolowanie wywołanych przez nią spadków napięcia.

Wartość napięcia w danym węzle zależy od mocy bierniej odbieranej w tym węzle oraz od wartości napięć i mocy biernych odbieranych w sąsiednich węzłach.

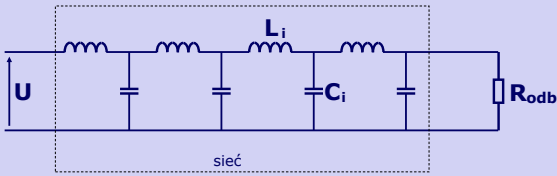
47 grzegorz.blajszczak@gmail.com

$$I = \frac{U_N}{R_{odb} + j\omega L_N} = \frac{U_N R_{odb}}{R_{odb}^2 + (\omega L_N)^2} - j \frac{U_N \omega L_N}{R_{odb}^2 + (\omega L_N)^2}$$

$$Q = U_N^2 \frac{\omega L_N}{R_{odb}^2 + (\omega L_N)^2}$$

48 grzegorz.blajszczak@gmail.com





$$\frac{I^2 L_i}{2} = \frac{U^2 C_i}{2} \rightarrow \frac{U}{I} = \sqrt{\frac{L_i}{C_i}} \rightarrow P_{odb} = \frac{U^2}{\sqrt{\frac{L_i}{C_i}}}$$

49

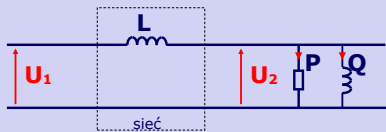
grzegorz.blajszczak@gmail.com

### Wartości mocy w rzeczywistych liniach

$U_N$	przewód	$P_{nat}$	$P_{max}$	$Q_{P=0}$	$Q_{P=P_{max}}$
kV		MW	MW	MVA/km	MVA/km
110	AFL240	32	140	0,034	0,65
220	AFL525	130	460	0,130	1,80
400	AFL2X525	510	1600	0,540	5,30

50

grzegorz.blajszczak@gmail.com



$$U_2 + jX_L \left( \frac{P}{U_2} + j \frac{Q}{U_2} \right) = \bar{U}_1$$

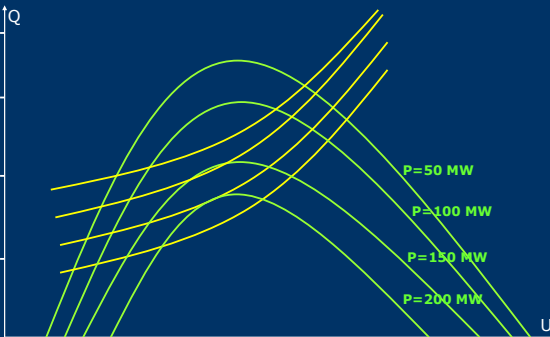
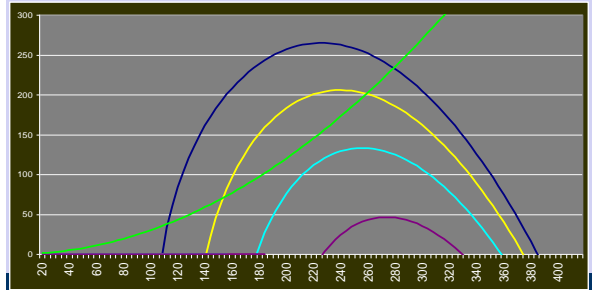
$$U_1^2 = \left( U_2 + X_L \frac{Q}{U_2} \right)^2 + \left( X_L \frac{P}{U_2} \right)^2$$

$$Q = \sqrt{\left( \frac{U_1 U_2}{X_L} \right)^2 - P^2} - \frac{U_2^2}{X_L}$$

51

grzegorz.blajszczak@gmail.com

$$Q = \sqrt{\left( \frac{U_1 U_2}{X_L} \right)^2 - P^2} - \frac{U_2^2}{X_L}$$



53

grzegorz.blajszczak@gmail.com

$$\Delta P = \frac{\partial P}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial P}{\partial U} \Delta U$$

$$\Delta Q = \frac{\partial Q}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial Q}{\partial U} \Delta U$$

54

grzegorz.blajszczak@gmail.com

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \dots \\ \Delta P_n \\ \Delta Q_1 \\ \dots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_1}{\partial U_1} & \frac{\partial P_1}{\partial U_2} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial U_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n}{\partial U_1} & \frac{\partial P_n}{\partial U_2} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial U_n} \\ \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_1}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial U_2} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial U_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_n}{\partial U_2} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial U_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_1 \\ \dots \\ \Delta \delta_n \\ \Delta U_1 \\ \dots \\ \Delta U_n \end{bmatrix}$$

55

grzegorz.blajszczak@gmail.com

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial U} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial U} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta U \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{P\delta} & J_{PU} \\ J_{Q\delta} & J_{QU} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta U \end{bmatrix}$$

przy  $f = \text{const}$   $\Delta P = 0$

$$\Delta Q = [J_{QU} - J_{Q\delta} J_{P\delta}^{-1} J_{PU}] \Delta U = J_R \Delta U$$

$$\Delta U = J_R^{-1} \Delta Q$$

56

grzegorz.blajszczak@gmail.com

### Analiza modalna

$$\Delta U = J_R^{-1} \Delta Q$$

$$\det(J_R - \lambda I) = 0 \rightarrow \Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_n \end{bmatrix} \quad (J_R - \lambda I) W = 0 \rightarrow W$$

$$J_R W = W \Lambda \rightarrow J_R^{-1} = W \Lambda^{-1} W^{-1}$$

$$W^{-1} \Delta U = \Lambda^{-1} W^{-1} \Delta Q$$

$$\Delta U_m = \Lambda^{-1} \Delta Q_m$$

$$\Delta U_{mi} = \frac{\Delta Q_{mi}}{\lambda_i}$$

57

grzegorz.blajszczak@gmail.com

$$\Delta U_{mi} = \frac{\Delta Q_{mi}}{\lambda_i}$$

przykład dla systemu 4-węzłowego

$$\eta_{11} \Delta U_1 + \eta_{12} \Delta U_2 + \eta_{13} \Delta U_3 + \eta_{14} \Delta U_4 =$$

$$= \frac{1}{\lambda_i} (\gamma_{11} \Delta Q_1 + \gamma_{12} \Delta Q_2 + \gamma_{13} \Delta Q_3 + \gamma_{14} \Delta Q_4)$$

Napięcie modalne

Współczynnik udziału wartości własnej

Modalna moc bierna

58

grzegorz.blajszczak@gmail.com

$$\Delta U_{mi} = \frac{\Delta Q_{mi}}{\lambda_i}$$

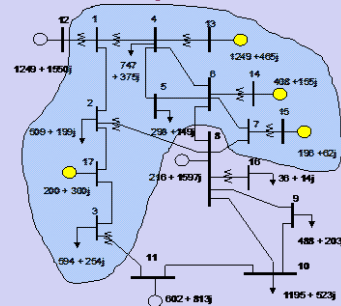
Jeżeli jedna z wartości własnych dąży do zera wraz z obciążaniem systemu  $\lambda_i \rightarrow 0$ , to przyrost modalnego napięcia  $\Delta U_{mi}$  jest bardzo wrażliwy na przyrost modalnej mocy biernej  $\Delta Q_{mi}$ , natomiast nie ma to wpływu na inne przyrosty modalnych napięć.

Oznacza to, że system elektroenergetyczny jest wrażliwy na pewną liniową kombinację przyrostów węzłowych mocy biernych.

59

grzegorz.blajszczak@gmail.com

### Przykład obliczeniowy



60

grzegorz.blajszczak@gmail.com

### Współczynnik udziału wartości własnej

		Obciążenie A 2250 MW		Obciążenie B 3766 MW		Obciążenie C 3848 MW	
		$\lambda_{min} = 11.49$		$\lambda_{min} = 2.34$		$\lambda_{min} = 0.095$	
LP	Wezeł	Udział	Wezeł	Udział	Wezeł	Udział	
1	15	1,000	15	1,000	2	1,000	
2	7	0,329	14	0,917	6	0,713	
3	6	0,083	7	0,845	5	0,680	
4	5	0,045	6	0,804	14	0,657	
5	4	0,007	5	0,726	7	0,652	
6	2	0,004	2	0,548	15	0,591	
7	1	0,000	4	0,411	4	0,448	
8	9	0,000	13	0,393	13	0,403	
9	10	0,000	1	0,280	1	0,320	
10	3	0,000	9	0,000	17	0,039	
11	16	0,000	10	0,000	3	0,011	
12	13	0,000	3	0,000	9	0,000	

61

grzegorz.blajszczak@gmail.com

### Ciąg przesyłowym 400 kV Północ-Południe: Gdańsk Błonia – Grudziądz – Płock – Miłosna – Mościska – Rogowiec.



62

grzegorz.blajszczak@gmail.com

Zidentyfikowane obszary VCA1

Lista węzłów należących do VCA1

Lista generatorów i baterii kondensatorów, które mają wpływ na regulację napięcia w VCA1

Wartość mocy biernej wymaganej dla obszaru VCA 1

63

grzegorz.blajszczak@gmail.com

Zastosowanie rozproszonego układu sterowania pozwala na równoległe realizowanie obliczeń i wyznaczanie sterujących wartości zadanych na obiekcie, bez konieczności ich przesyłania

Obliczenie rozplywów mocy i analiza stanu sieci wykonywana tradycyjną metodą na pojedynczym komputerze może trwać kilka godzin. Czas realizacji tych obliczeń według nowego algorytmu w rozproszonym systemie Ovation jest mierzony w milisekundach.

64

Zastosowanie rozproszonych systemów automatyki do sterowania elektrowniami i sieciami wysokich i średnich napięć

plan prezentacji:

1. Budowa i sposób działania
2. Programowanie i uruchamianie
3. Narzędzia operatorskie
4. Zastosowanie w sieciach
5. Zastosowanie w elektrowniach

65

System Ovation jest wykorzystywany w Polsce do sterowania procesami na wszystkich blokach w elektrowniach:  
Kozienice Połaniec, Pątnów, Rybnik, Żarnowiec, Ostrołęka, Stalowa Wola,  
na kilku blokach w elektrowniach:  
Belchatów, Jaworzno, Konin, Opole,  
oraz w elektrociepłowniach: Bydgoszcz, Łódź, Poznań, Żerań,  
a także w PGNiG Krio Odolanów.