

LII (52) OLIMPIADA WIEDZY TECHNICZNEJ
– INŻYNIERIA W ELEKTROENERGETYCE
ZAWODY III STOPNIA
(zestaw z rozwiązaniami)

Autor: Stanisław Wincenciak

Koreferent: Paweł Fabijański

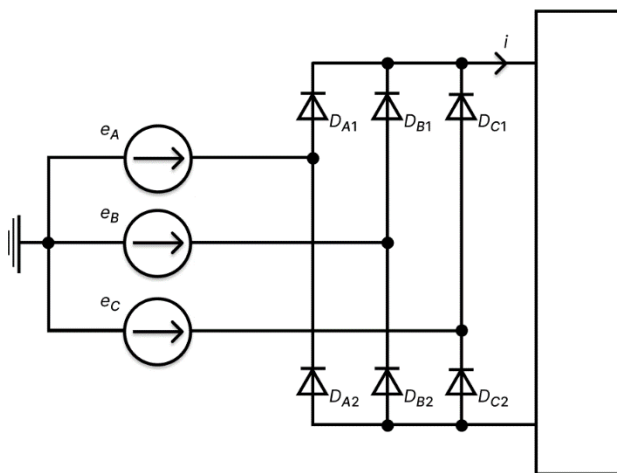
Zadanie nr 1

Na rysunku pokazano prostownik w układzie mostka trójfazowego bez przewodu neutralnego obciążony obwodem rezystancyjnym, w którym napięcia źródeł są opisane zależnościami:

$$e_A = E_m \sin(\omega t + 30^\circ),$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 90^\circ),$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t - 210^\circ).$$

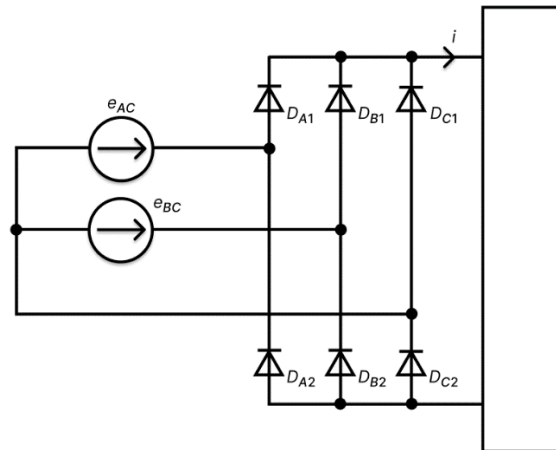


Należy zaprezentować równoważny (ze względu na napięcie wyjściowe po wyprostowaniu) schemat obwodu dwufazowego prostownika z przewodem neutralnym i z wykorzystaniem takiego samego trójfazowego mostka diodowego a także należy wyznaczyć postać chwilową źródeł napięcia w zaproponowanym układzie dwufazowym. Następnie dla obydwu rozwiązań konstrukcyjnych należy podać, które diody (zawsze dwie) będą przewodzić w kolejnym przedziale kąta fazowego (w tym samym czasie) w ramach podstawowego okresu zmiany napięć źródeł ($0^\circ - 360^\circ$).

Wskazówka: Przewód neutralny powinien zastąpić jeden z przewodów fazowych i łączyć z odbiornikiem punkt wspólny źródeł dwufazowych, zastępujących generator trójfazowy.

Rozwiązanie

W celu rozwiązania zadania należy zastosować zasadę o włączeniu dodatkowych źródeł napięcia do gałęzi dochodzących do wspólnego uziemionego węzła (patrz rys. z treści zadania). Jeśli założymy eliminację źródła napięcia w fazie C, to we wszystkich gałęziach włączamy źródło napięcia e_C skierowane do wspólnego węzła. Wtedy uzyskamy schemat jak na rysunku poniżej.



Otrzymujemy układ dwufazowy z przewodem neutralnym, gdzie źródła napięcia są napięciami międzyfazowymi e_{AC} i e_{BC} o postaci

$$e_{AC} = e_A - e_C = \sqrt{3}E_m \sin \omega t,$$

$$e_{BC} = e_B - e_C = \sqrt{3}E_m \sin(\omega t - 60^\circ).$$

W celu uzyskania przedstawionych zależności określających postać chwilową poszukiwanych źródeł napięcia można wykorzystać znany z trygonometrii wzór

$$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right) \sin \left(\frac{\alpha - \beta}{2} \right)$$

lub np. wykresy wskazowe.

Identyczne postępowanie możemy zastosować z wykorzystaniem napięcia fazowego fazy A lub fazy B.

Równoważność układów zapewnia, że w obydwu przypadkach te same pary diod przewodzą w tych samych przedziałach kątów fazowych (chwilach czasowych).

Zgodnie z zasadą działania prostownika mostkowego w każdej chwili przewodzą dwie diody – ta, której anoda dołączona jest do źródła o najwyższym w danej chwili napięciu i dioda, której katoda jest dołączona do źródła o najniższej w danej chwili wartości napięcia. Po narysowaniu wykresów napięć źródeł opisanych wzorami w treści zadania lub otrzymanymi w trakcie rozwiązania zadania i po analizie otrzymamy:

$(0^\circ - 60^\circ) \rightarrow D_{A1}, D_{B2};$	$(60^\circ - 120^\circ) \rightarrow D_{A1}, D_{C2};$	$(120^\circ - 180^\circ) \rightarrow D_{B1}, D_{C2};$
$(180^\circ - 240^\circ) \rightarrow D_{B1}, D_{A2};$	$(240^\circ - 300^\circ) \rightarrow D_{C1}, D_{A2};$	$(300^\circ - 360^\circ) \rightarrow D_{C1}, D_{B2}.$

Zadanie nr 2

Dla miejscowości zamieszkałej przez 10000 mieszkańców konieczne jest wybudowanie nowego systemu zasilania energią elektryczną. Rozważane są 3 rozwiązania: turbina wiatrowa, elektrownia wodna oraz elektrownia węglowa.

Sprawdź, w jakim stopniu każda z instalacji spełnia zapotrzebowanie na moc dla rozważanej miejscowości wiedząc że:

- uśrednione zapotrzebowanie na energię elektryczną na mieszkańca wynosi: 4 300 kWh/rok;
- istnieje możliwość budowy turbiny wiatrowej o średnicy wirnika 175 m, średnia prędkość wiatru w miejscu instalacji turbiny na wysokości wirnika wynosi 8 m/s, gęstość powietrza $1,2 \text{ kg/m}^3$, współczynnik mocy turbiny wynosi 0,45, sprawność mechaniczna 95%, a sprawność elektryczna 85%;
- różnica wysokości położenia lustra cieczy w zbiorniku górnym i zbiorniku dolnym dla turbiny wodnej wynosi 50 m, dostępna średnia wartość natężenia przepływu wynosi $12 \text{ m}^3/\text{s}$, gęstość wody 1000 kg/m^3 , przyspieszenie ziemskie $9,81 \text{ m/s}^2$, sprawność całkowita turbiny 90%;
- wartość opałowa paliwa 23 MJ/kg, istnieje możliwość dostarczenia drogą kolejową 1 składu węgla miesięcznie (przez skład węgla należy rozumieć zestaw 40 wagonów do transportu węgla, gdzie każdy wagon może transportować 50 ton węgla), sprawność elektryczna netto bloku wynosi 38%.

Rozwiązanie

Obliczanie mocy turbiny wiatrowej:

Moc turbiny: $P_t = C_p \cdot P_w \cdot \eta_m \cdot \eta_{el}$

Moc strugi wiatru: $P_w = \frac{1}{2} \rho_p \cdot v_w^3 \cdot A_w$

Dane:

Średnica wirnika: $D = 175 \text{ m}$

Prędkość wiatru: $v_w = 8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Gęstość powietrza: $\rho_p = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Współczynnik mocy turbiny: $C_p = 0,45$

Sprawność mechaniczna: $\eta_m = 0.95$

Sprawność elektryczna: $\eta_{el} = 0.85$

Obliczenia:

Pole wirnika: $A_w = \frac{\pi D^2}{4} = 24052,82 \text{ m}^2$

Moc strugi wiatru: $P_w = \frac{1}{2} \rho_p \cdot v_w^3 \cdot A_w = 7\,388\,774 \text{ W} = 7,389 \text{ MW}$

Moc turbiny:

$$P_t = C_p \cdot P_w \cdot \eta_m \cdot \eta_{el} = 2,685 \text{ MW}$$

Obliczanie mocy turbiny wodnej:

Moc turbiny: $P_{tw} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta$

Dane:

Wysokość użyteczna: $H = 50 \text{ m}$

Natężenie przepływu: $Q = 12 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

Gęstość wody: $\rho_w = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Przyspieszenie ziemskie: $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

sprawność całkowita turbiny: $\eta = 0,9$

Obliczenia:

Moc turbiny:

$$P_{tw} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta = 5\,297\,400 \text{ W} = 5,296 \text{ MW}$$

Obliczanie mocy elektrowni węglowej:

Moc elektryczna netto bloku: $P_{el,net} = \eta_{el,net} \dot{Q}_{chem}$

Dane:

Wartość opałowa paliwa: $H_i = 23.0 \text{ MJ/kg}$

Sprawność elektryczna netto bloku: $\eta_{el,net} = 0.38$

Masa dostarczona: 40 wagonów o pojemności 50 ton/miesiąc

Obliczenia:

Strumień masy węgla dostarczany do elektrowni:

$$\dot{m}_f = \frac{12 \cdot 40 \cdot 50 \text{ t}}{365 \text{ dni}} = 65.753 \text{ t/dzień} = 0,761 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Strumień mocy chemicznej doprowadzanej w paliwie:

$$\dot{Q}_{chem} = H_i \cdot \dot{m}_f = 17,503 \text{ MW}$$

Moc elektryczna netto bloku:

$$P_{el,net} = \eta_{el,net} \dot{Q}_{chem} = 6,651 \text{ MW}$$

Zapotrzebowanie na moc przez miejscowość:

$$P_{mieszkanca} = 4300 \frac{\text{kWh}}{\text{rok}} \cdot \frac{\text{rok}}{365 \text{ dni} \cdot 24 \text{ h}} = 0,4908 \text{ kW} = 490,8 \text{ W}$$

$$P_{miejscowosc} = 490,8 \text{ W} \cdot 10\,000 = 4\,908\,000 \text{ W} = 4,908 \text{ MW}$$

Stopień w jakim poszczególne instalacje spełniają zapotrzebowanie na moc potrzebną do zasilenia miejscowości:

- dla elektrowni wiatrowej:

$$\frac{P_t}{P_{miejscowosc}} = \frac{2,685 \text{ MW}}{4,908 \text{ MW}} = 0,55$$

- dla elektrowni wodnej:

$$\frac{P_{tw}}{P_{miejscowosc}} = \frac{5,296 \text{ MW}}{4,908 \text{ MW}} = 1,08$$

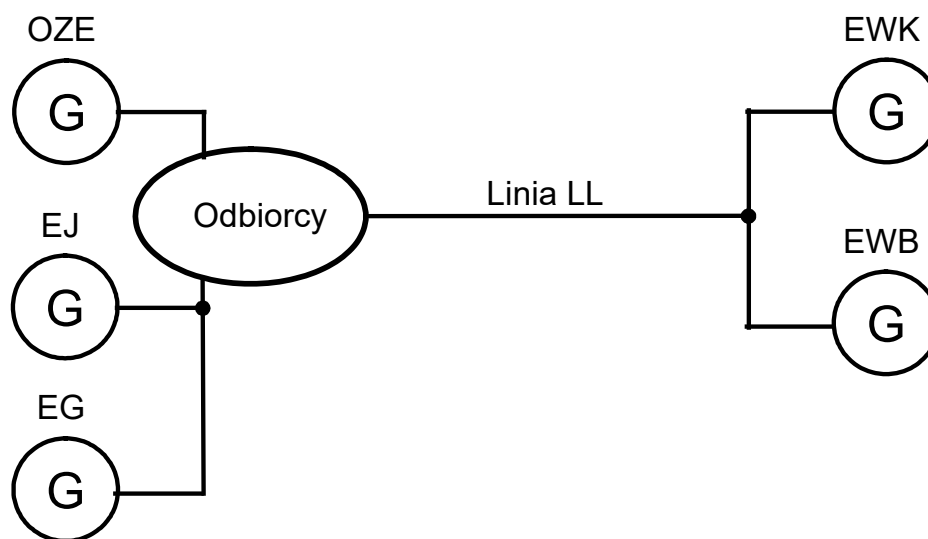
- dla elektrowni węglowej:

$$\frac{P_{el,net}}{P_{miejscowosc}} = \frac{6,651 \text{ MW}}{4,908 \text{ MW}} = 1,35$$

Problem techniczny

W sieci elektroenergetycznej pracują jednostki wytwórcze wymienione w tabeli wraz z zakresem ich pracy oraz kosztem wytworzenia jednej MWh energii.

Symbol	Rodzaj źródła	Moc minimalna [MW]	Moc maksymalna [MW]	Koszt energii [zł/MWh]
OZE	Odnawialne Źródło Energii	0	1000	0
EJ	Elektrownia jądrowa	500	2000	50
EWB	Elektrownia na węgiel brunatny	1000	3000	200
EWK	Elektrownia na węgiel kamienny	1000	3000	250
EG	Elektrownia gazowa	500	1500	300



Proszę wyznaczyć **minimalny całkowity koszt energii** w tym układzie, który należy ponieść w ciągu 1 godziny pracy jednostek wytwórczych, w następujących scenariuszach:

1. Zapotrzebowanie na moc 3100 MW, brak produkcji energii w OZE.
2. Zapotrzebowanie na moc 3100 MW, maksymalna produkcja energii w OZE.
3. Zapotrzebowanie na moc 3100 MW, produkcja w OZE na poziomie 100 MW, wymuszona praca wszystkich jednostek wytwórczych z powodów systemowych.
4. Zapotrzebowanie na moc 3100 MW, brak produkcji energii w OZE i EJ.
5. Zapotrzebowanie na moc 3100 MW, brak produkcji energii w OZE i EJ, limit przesyłu energii linią LL do 2000 MW.
6. Maksymalna produkcja energii w OZE; zapotrzebowanie liniowo zależne od cen energii -> dla kosztu energii 0 zł/MWh zapotrzebowanie 8000MW; dla kosztu energii 300 zł/MWh zapotrzebowanie 2000 MW.

Rozwiązanie:

Większość scenariuszy nie wymaga przeprowadzania obliczeń w celu ustalenia mocy z jaką pracują poszczególne jednostki wytwórcze. Wymaga to jedynie spełnienia warunków postawionych w scenariuszu.

Jedynie scenariusz 6 wymaga przeprowadzenia obliczeń, których celem jest wyznaczenie przecięcia się krzywej popytu z krzywą podaży.

1. Zapotrzebowanie na moc 3100 MW, brak produkcji energii w OZE.

Scenariusz 1

zero OZE

	MW	MW	PLN			
	moc min	moc max	koszt		moc pracy	koszt pracy
OZE	0	1000	0		0	0
EJ	500	2000	50		2000	100000
EWB	1000	3000	200		1100	220000
EWK	1000	3000	250		0	0
EG	500	1500	300		0	0

suma	3100	320000
------	------	--------

2. Zapotrzebowanie na moc 3100 MW, maksymalna produkcja energii w OZE.

Scenariusz 2

max OZE

	MW	MW	PLN			
	moc min	moc max	koszt		moc pracy	koszt pracy
OZE	0	1000	0		1000	0
EJ	500	2000	50		1600	80000
EWB	1000	3000	200		0	0
EWK	1000	3000	250		0	0
EG	500	1500	300		500	150000

suma	3100	230000
------	------	--------

3. Zapotrzebowanie na moc 3100 MW, produkcja w OZE na poziomie 100 MW, wymuszona praca wszystkich jednostek wytwórczych z powodów systemowych.

Scenariusz 3

po minimach

	MW	MW	PLN			
	moc min	moc max	koszt		moc pracy	koszt pracy
OZE	0	1000	0		100	0
EJ	500	2000	50		500	25000
EWB	1000	3000	200		1000	200000
EWK	1000	3000	250		1000	250000
EG	500	1500	300		500	150000

suma	3100	625000
------	------	--------

4. Zapotrzebowanie na moc 3100 MW, brak produkcji energii w OZE i EJ.

Scenariusz 4

zero OZE i EJ

	MW	MW	PLN			
	moc min	moc max	koszt		moc pracy	koszt pracy
OZE	0	1000	0		0	0
EJ	500	2000	50		0	0
EWB	1000	3000	200		2100	420000
EWK	1000	3000	250		1000	250000
EG	500	1500	300		0	0

suma	3100	670000
------	------	--------

5. Zapotrzebowanie na moc 3100 MW, brak produkcji energii w OZE i EJ, limit przesyłu energii linią LL do 2000 MW.

Scenariusz 5

zero OZE i EJ + limit przesyłu

	MW	MW	PLN			
	moc min	moc max	koszt		moc pracy	koszt pracy
OZE	0	1000	0		0	0
EJ	500	2000	50		0	0
EWB	1000	3000	200		2000	400000
EWK	1000	3000	250		0	0
EG	500	1500	300		1100	330000

suma	3100	730000
------	------	--------

6. Maksymalna produkcja energii w OZE; zapotrzebowanie jest liniowo zależne od cen energii -> dla kosztu energii 0 zł/MWh zapotrzebowanie 8000MW; dla kosztu energii 300 zł/MWh zapotrzebowanie 2000 MW.

Należy wyznaczyć krzywą (linię popytu). Zakładając, że

x – popyt (zapotrzebowanie)

y – cena (koszt energii)

Linia popytu ma dwa charakterystyczne punkty (8000, 0) i (2000, 300). A zatem linia będzie dana następującym równaniem:

$$\text{popyt (y)} = -0.05 \text{ cena (x)} + 400$$

Popyt przecnie się z "krzywą" EWB o cenie 200, a zatem:

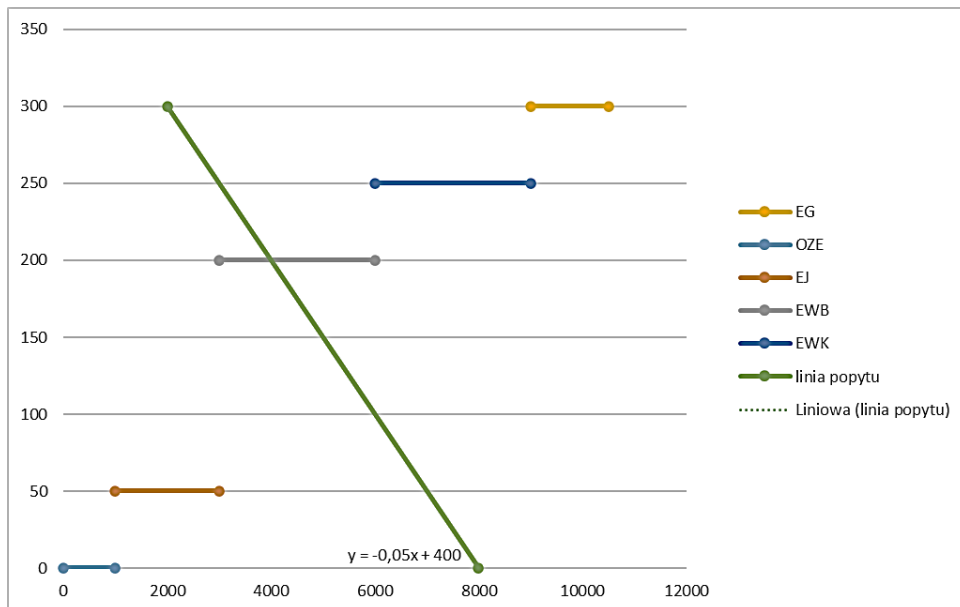
$$200 = -0.05x + 400$$

$$0.05x = 400 - 200$$

$$0.05x = 200$$

$$x = 4000$$

Czyli popyt (zapotrzebowanie całkowite) będzie na poziomie 4000 MW.



Scenariusz 6

linia popytu

	MW	MW	PLN			
	moc min	moc max	koszt		moc pracy	koszt pracy
OZE	0	1000	0		1000	0
EJ	500	2000	50		2000	100000
EWB	1000	3000	200		1000	200000
EWK	1000	3000	250		0	0
EG	500	1500	300		0	0

suma	4000	300000
------	------	--------