



AGH



Euro - Centrum

Studia Podyplomowe

EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ

w ramach projektu

**Śląsko-Małopolskie Centrum Kompetencji
Zarządzania Energią**

**Przemysłowe urządzenia elektrotermiczne działające
w oparciu o pozostałe metody nagrzewania elektrycznego**

Prof. dr hab. inż. Aleksy Kurbiel

Studia Podyplomowe

EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Moduł 5: Efektywność energetyczna
w urządzeniach elektrotermicznych

**Przemysłowe urządzenia elektrotermiczne
działające w oparciu o pozostałe metody
nagrzewania elektrycznego**

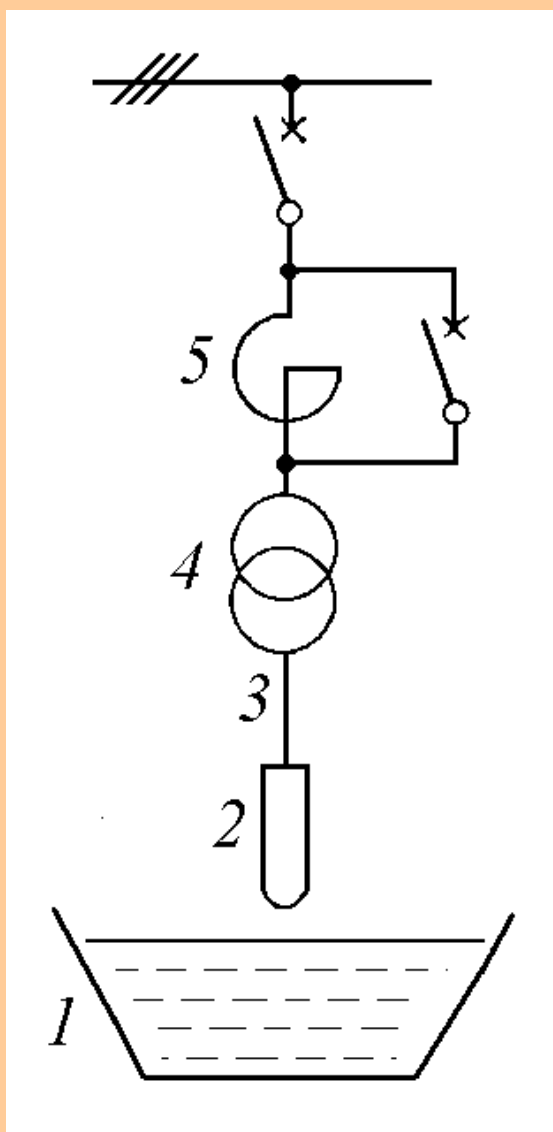
Prof. dr hab. inż. Aleksy Kurbiel

Część 1

Nagrzewanie łukowe

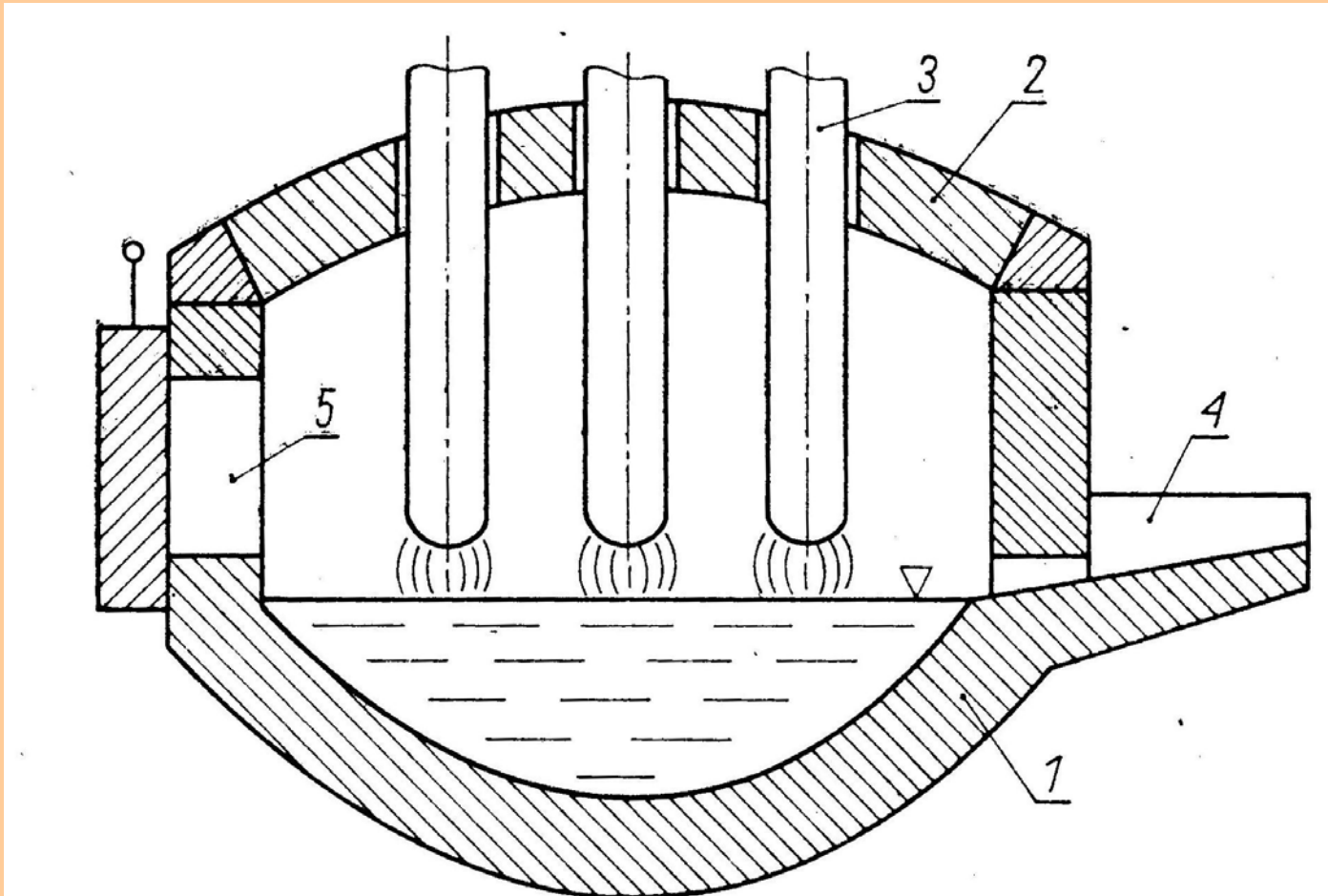
Nagrzewanie łukowe jest to nagrzewanie elektryczne oparte na efekcie Joule'a w gazach dopływających swobodnie do przestrzeni wyładowczej.

Schemat stalowniczego urządzenia łukowego



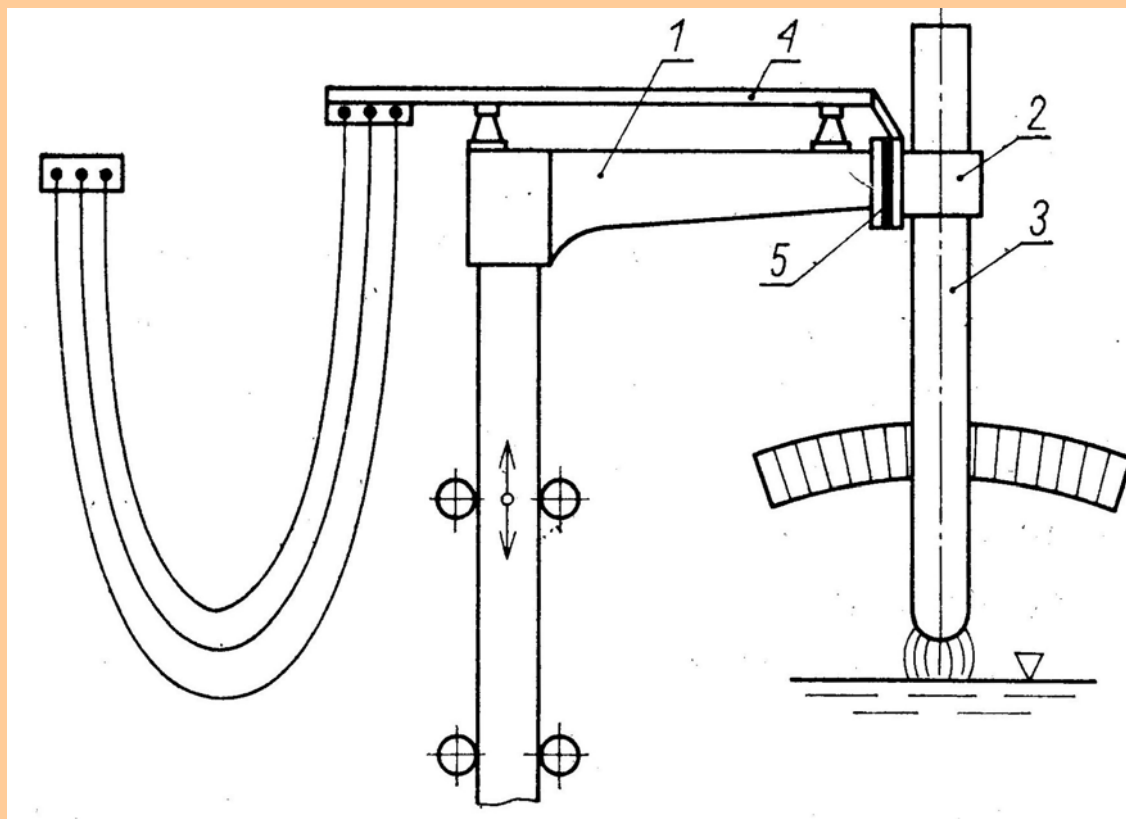
- 1 - piec łukowy,
- 2 - elektrody
- 3 - tor wielkoprądowy
- 4 - transformator,
- 5 - dławik

Szkic pieca łukowego



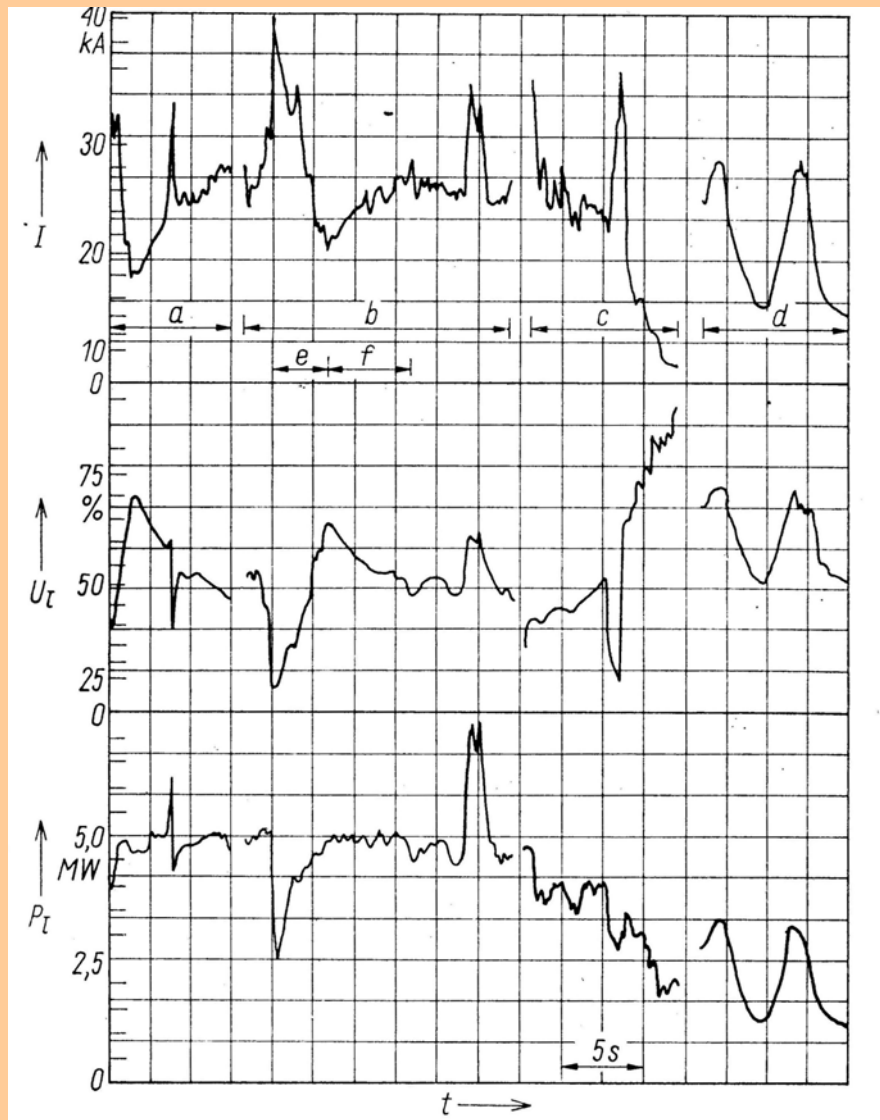
1 – wanna, 2 – sklepienie, 3 – elektrody,
4 – rynna, 5 – okno wsadowe

Urządzenie do przesuwania elektrody w piecu łukowym



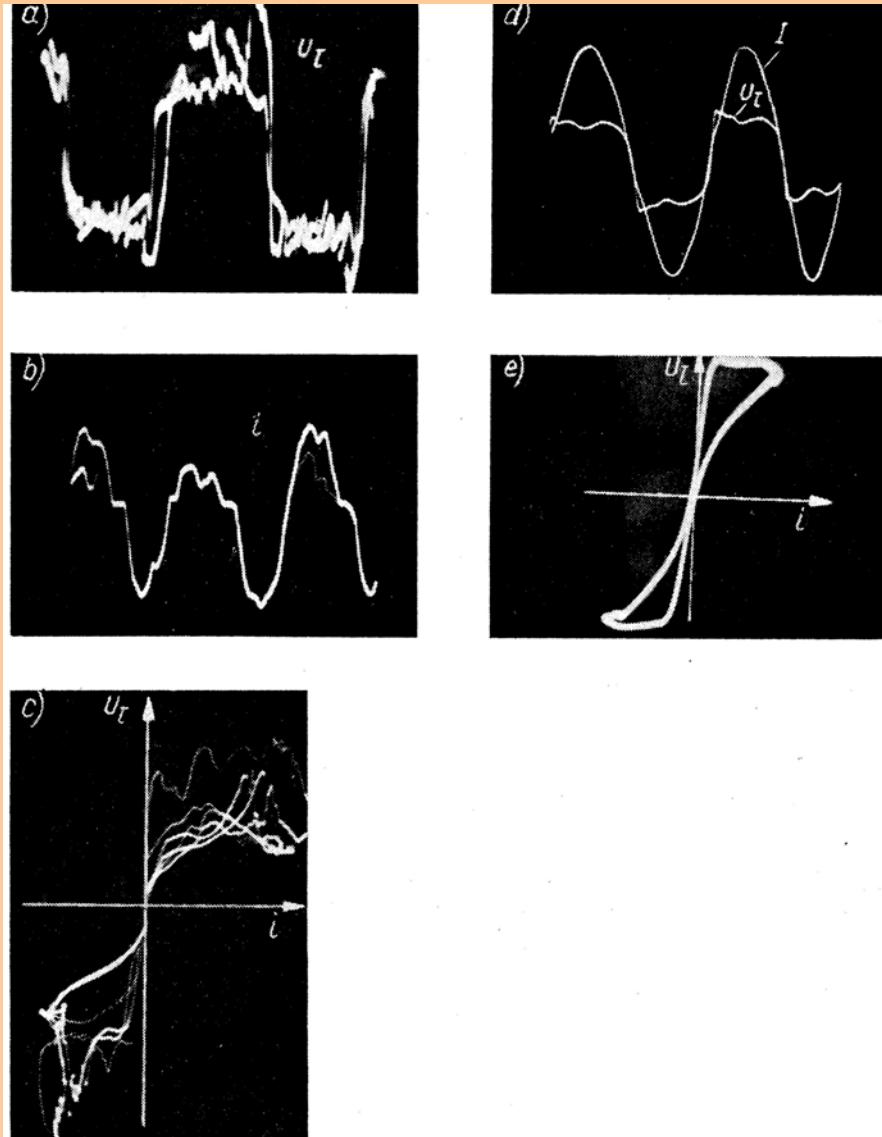
- 1 – przesuwany wysięgnik poziomy umocowany na stojaku,
- 2 – uchwyt elektrody, 3 – elektroda, 4 – rury miedziane,
- 5 – wkładka izolacyjna,

Przebiegi wielkości elektrycznych w piecu łukowym (1)



Przebiegi wartości skutecznego prądu i napięcia łuku oraz jego mocy

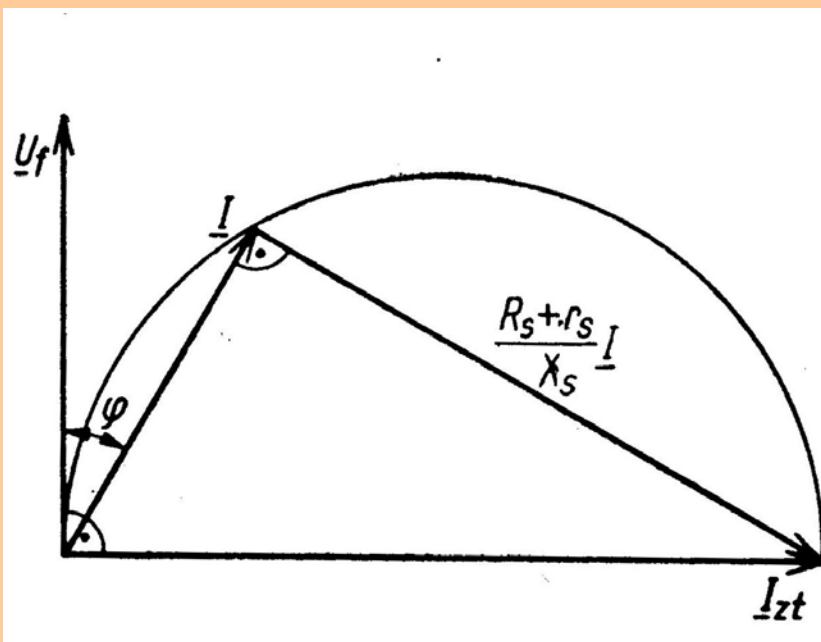
Przebiegi wielkości elektrycznych w piecu łukowym (2)



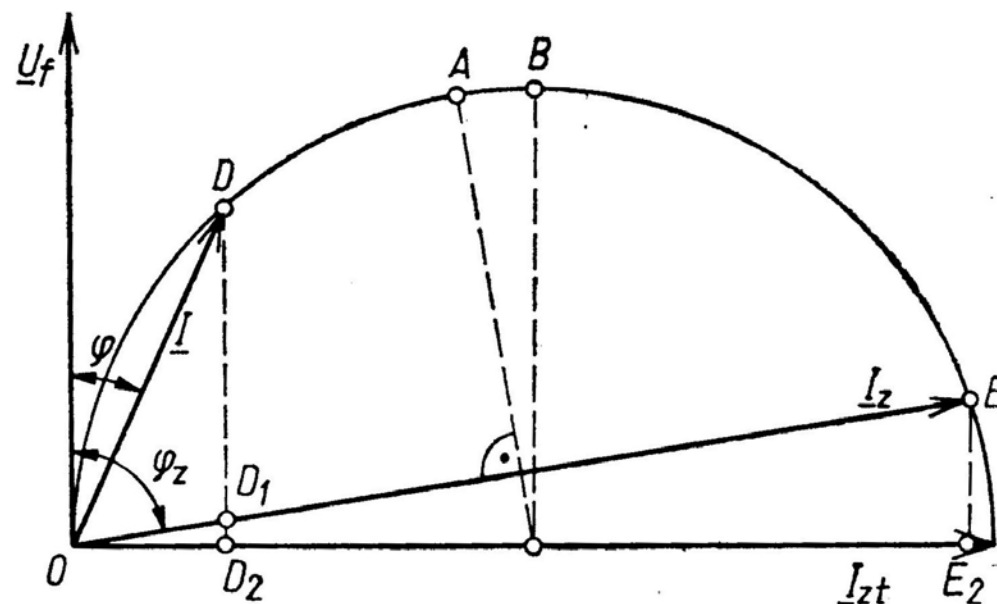
Oscylogramy wartości chwilowych napięć i prądów łuku oraz jego charakterystyk dynamicznych w piecu łukowym o pojemności 6 ton:

- a), b), c) – podczas roztopiania wsadu,
- d), e) – po roztopieniu stali

Wykres kołowy urządzenia łukowego

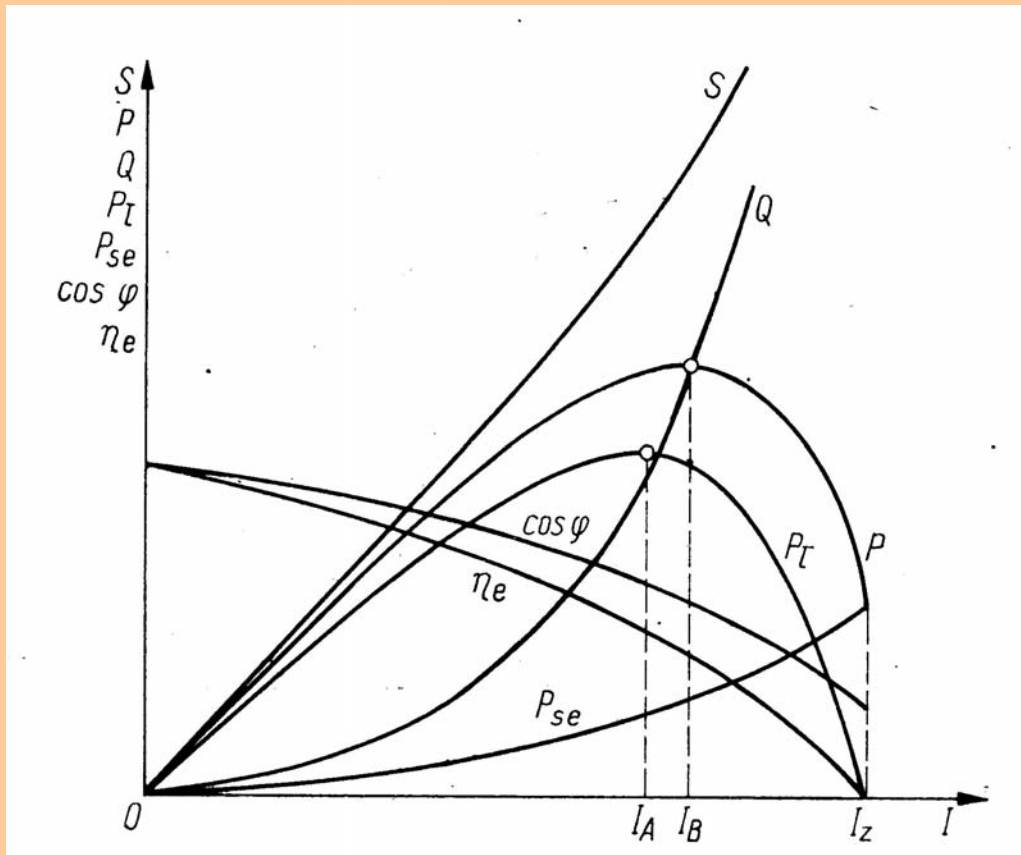


Wykres wskazowy prądów urządzenia łukowego



Wykres kołowy urządzenia łukowego

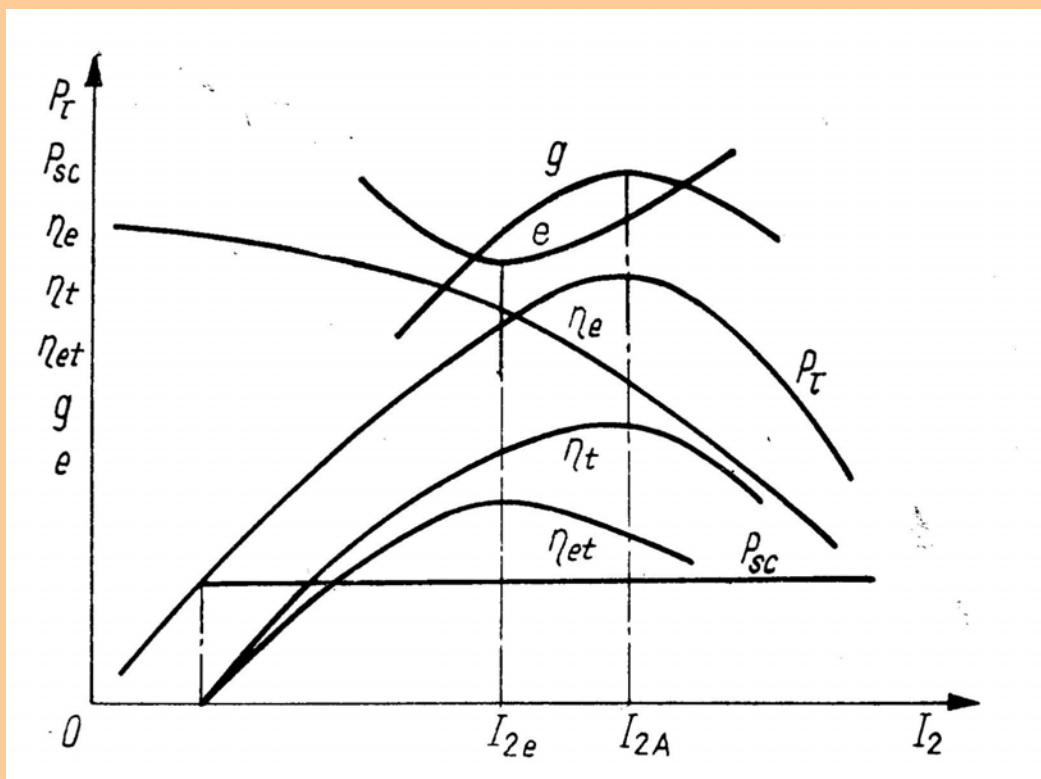
Charakterystyki prądowe urządzenia łukowego



Sumaryczne charakterystyki prądowe urządzenia łukowego:

- S – moc pozorna,
- P – moc czynna,
- Q – moc bierna,
- P_t – moc łuku,
- P_{se} – moc strat elektrycznych
- $\cos \varphi$ – współczynnik mocy,
- η_e – sprawność elektryczna

Charakterystyki robocze urządzenia łukowego

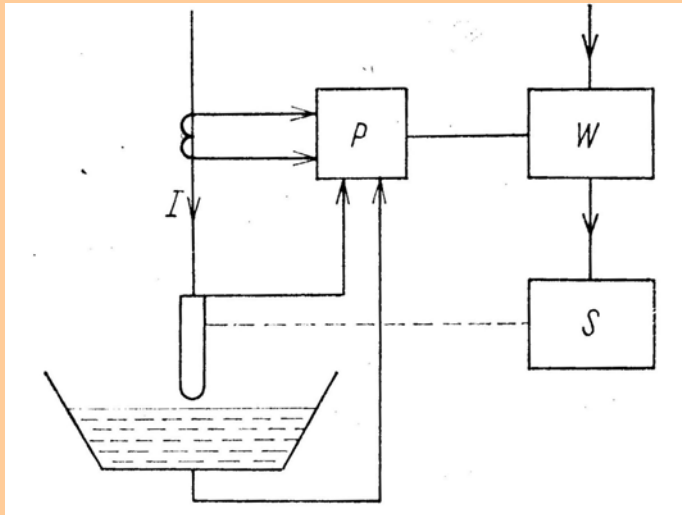


I_{2e} – prąd odpowiadający maksymalnej wartości sprawności całkowitej,
 I_{2A} – prąd odpowiadający maksymalnej wartości mocy łuków

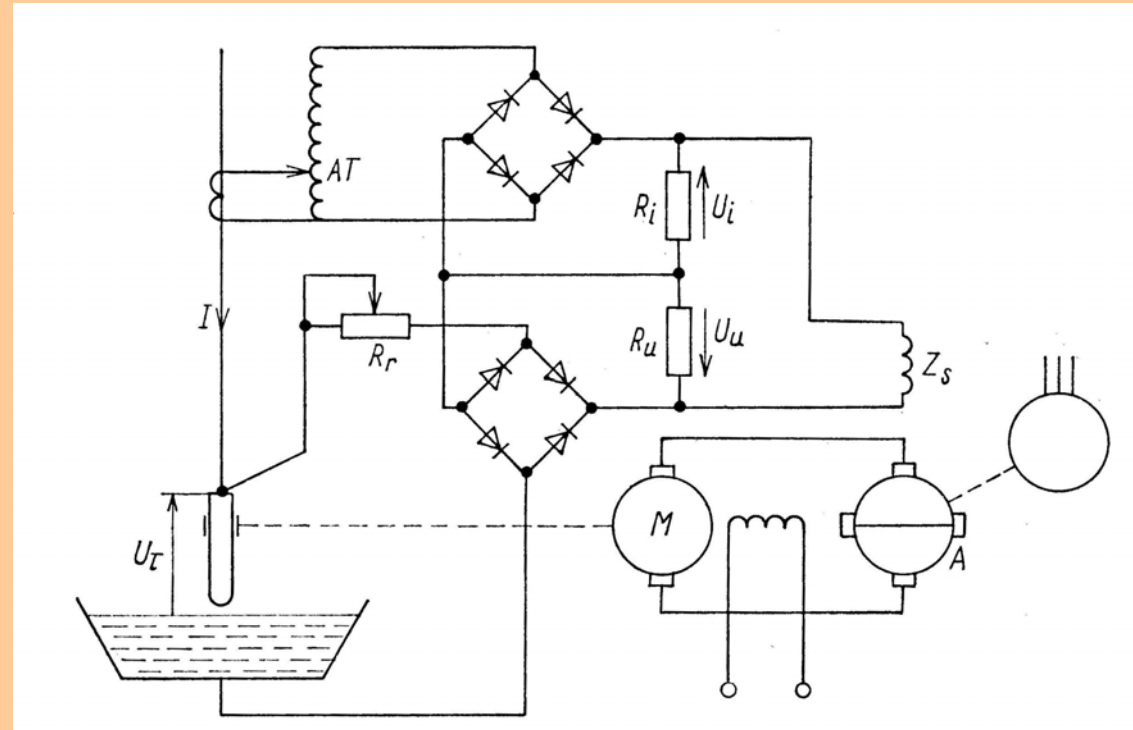
Charakterystyki robocze urządzenia łukowego z zaznaczonymi prądami I_{2e} oraz I_{2A} :

- P_t – moc łuku,
- P_{sc} – moc strat cieplnych
- η_e – sprawność elektryczna,
- η_t – sprawność cieplna,
- η_{et} – sprawność elektrotermiczna,
- g – wydajność pieca,
- e – jednostkowe zużycie energii elektrycznej

Automatyka łuku

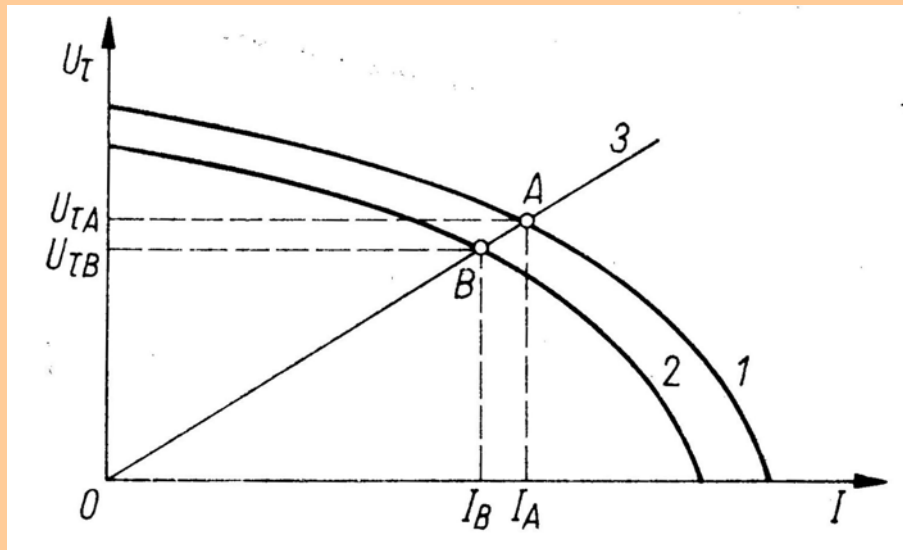


Schemat blokowy automatyki łuku

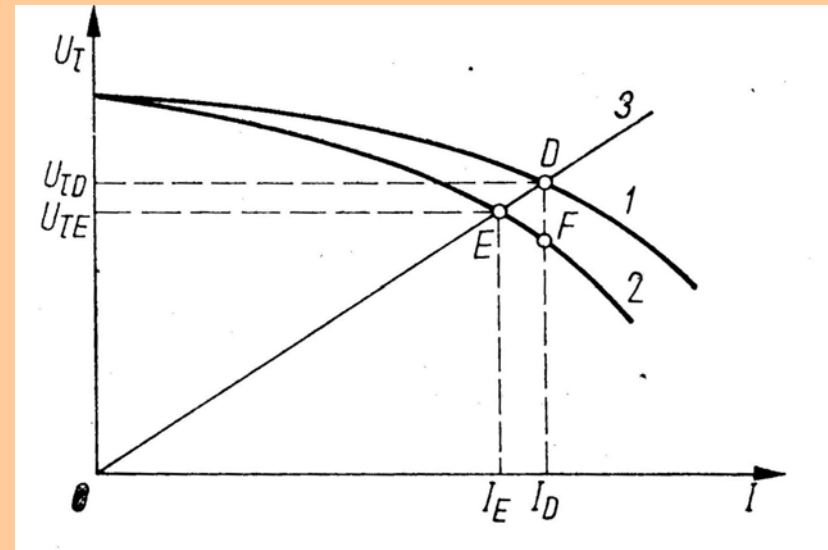


Uproszczony układ elektromechanicznej automatyki łuku z amplidyną

Wyznaczanie stanów pracy pieca

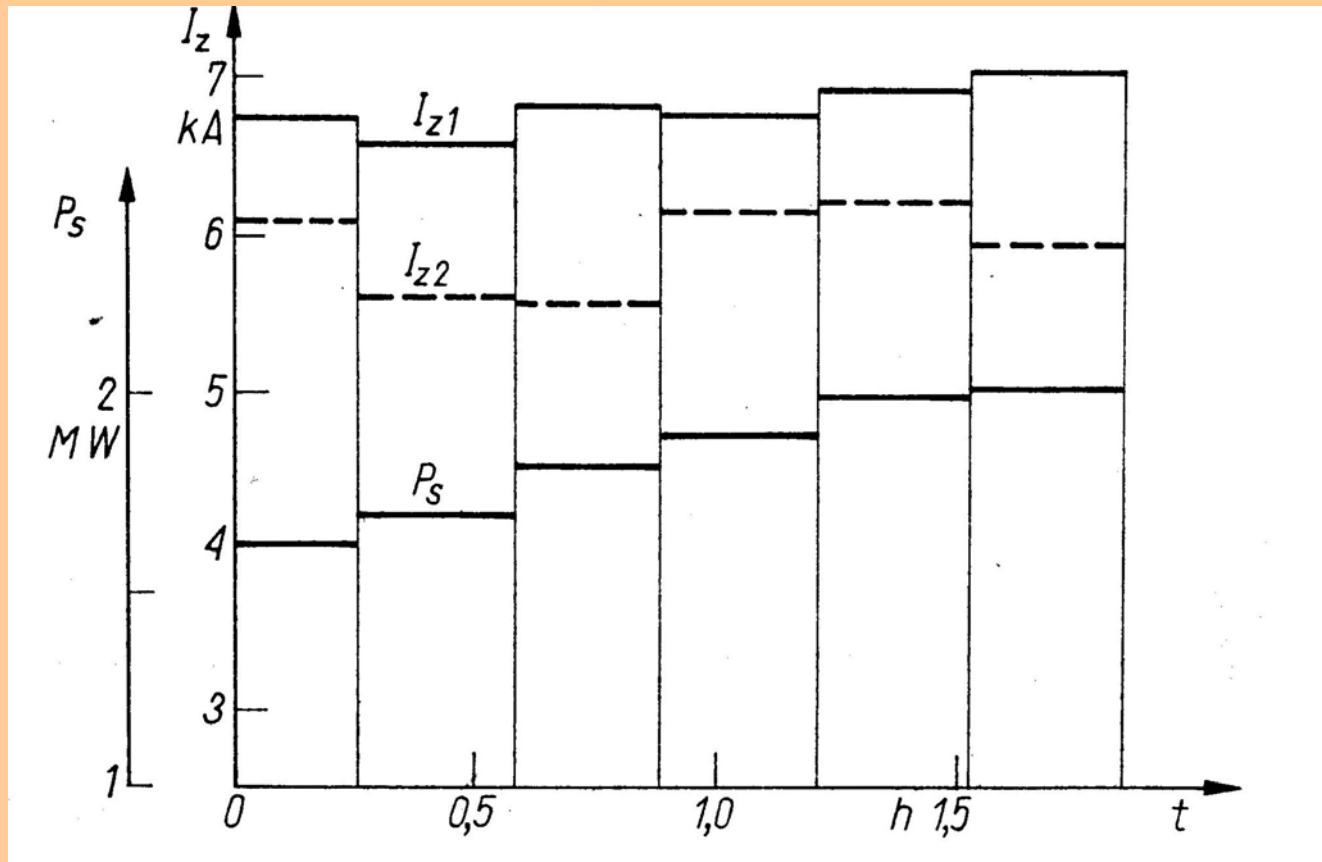


Wyznaczanie stanów pracy pieca przy różnych napięciach w rozdzielni piecowej



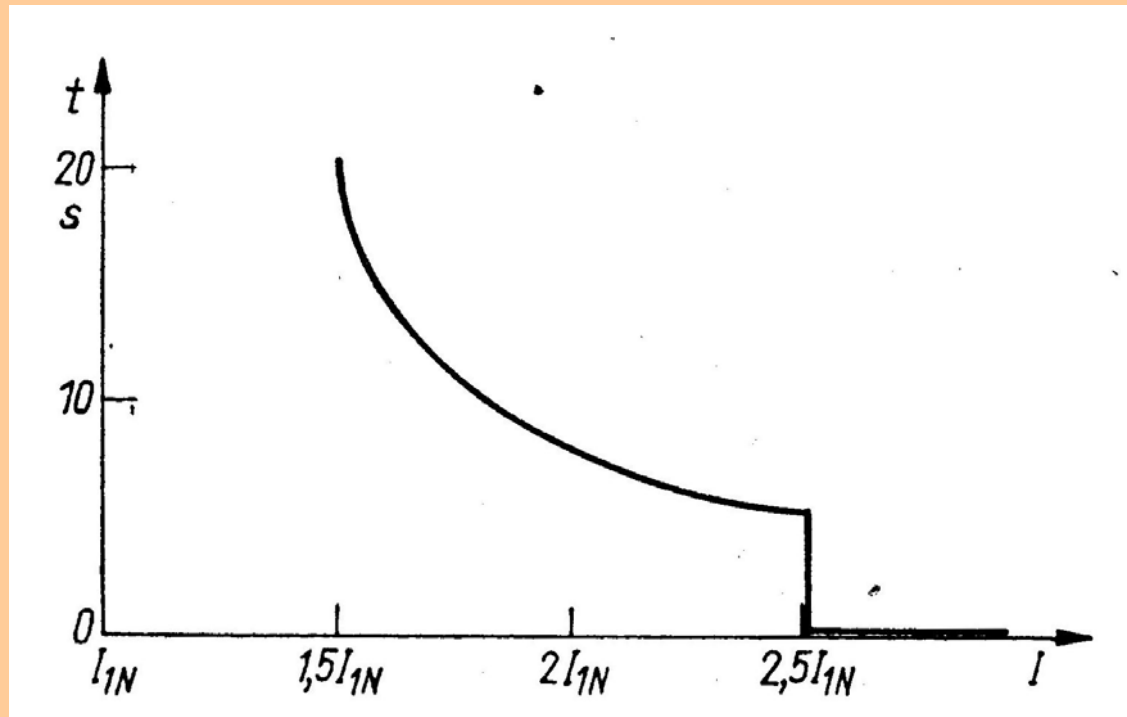
Wyznaczanie stanów pracy pieca przy sinusoidalnym i odkształconym prądzie łuku

Moc i prądy podczas pracy pieca



Wykresy mocy średniej pieca P_s i jego prądów zastępczych I_{z1} , I_{z2}

Charakterystyka zabezpieczenia prądowego urządzenia łukowego

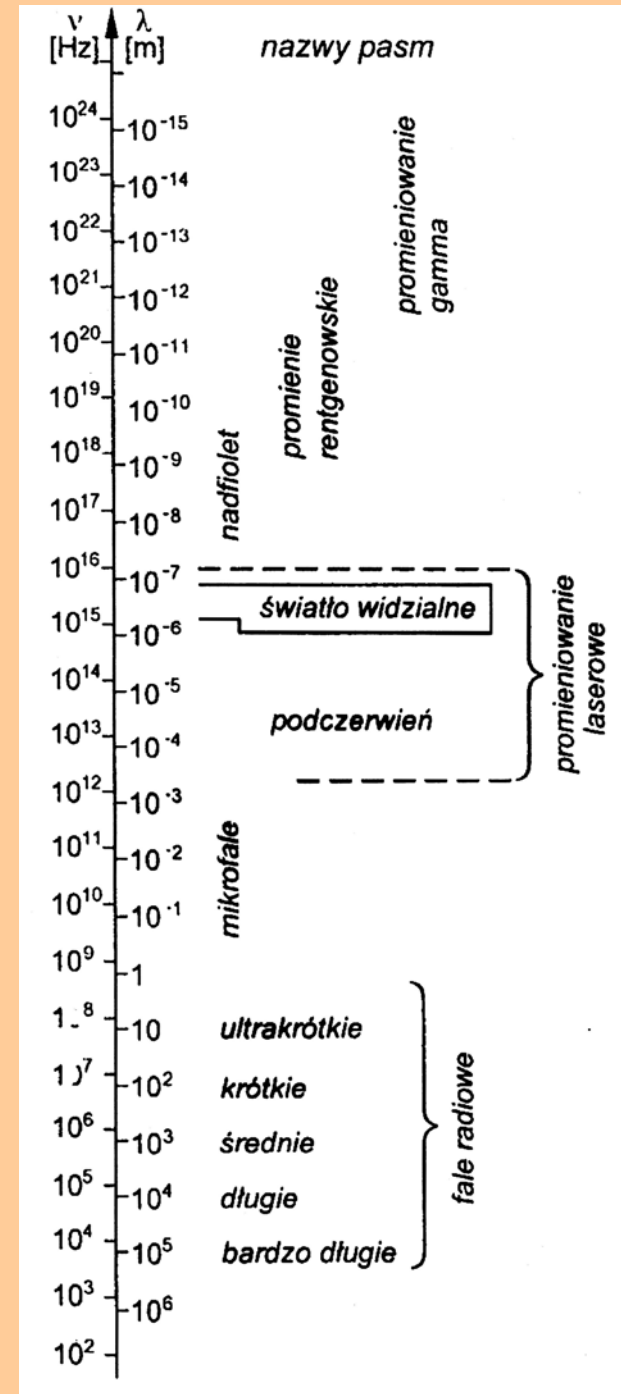


Część 2

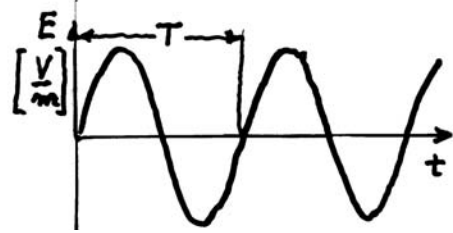
Nagrzewanie laserowe (fotonowe)

Nagrzewanie laserowe jest to nagrzewanie elektryczne polegające na pochłanianiu promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez lasery, których ośrodki aktywne wzbudzone są kosztem energii elektrycznej.

Widmo fal elektromagnetycznych

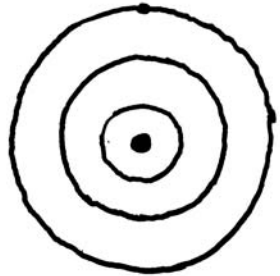


Promieniowanie laserowe



$$\frac{1}{T} = f \text{ [Hz]} ; \quad \lambda = cT ; \quad \lambda = \frac{c}{\nu}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



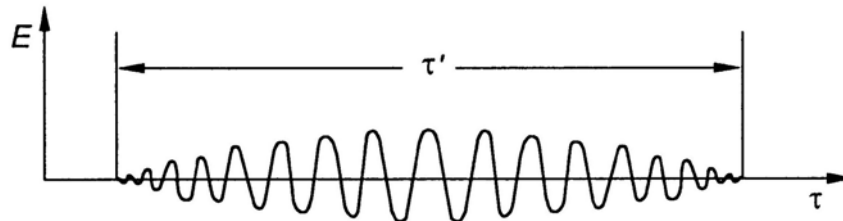
$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} ; \quad m_p = 1840 m_e$$

$$q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Dwa stany energetyczne: w_2 i $w_2 > w_1$

$$\frac{w_2 - w_1}{h} = \nu \text{ [Hz]} ; \quad \nu = f ; \quad h\nu = w_2 - w_1 \text{ [eV]}$$

$$1\text{eV} = 1q_e \cdot 1\text{V} ; \quad \tau = Ws = 1\text{C} \cdot 1\text{V}$$

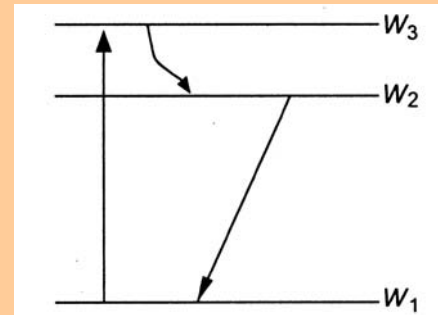


Ciąg falowy (foton) $h\nu$

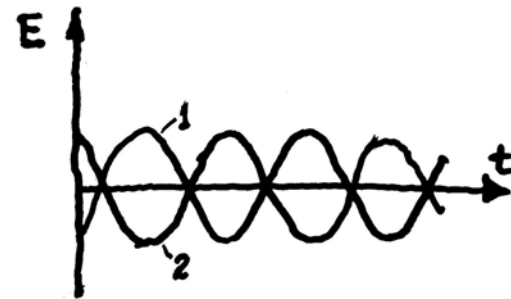
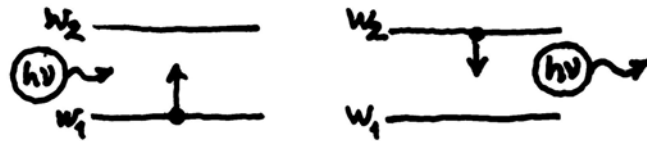
$$t' = 10^{-8} \text{ s}$$

Emisja spontaniczna a emisja wymuszona

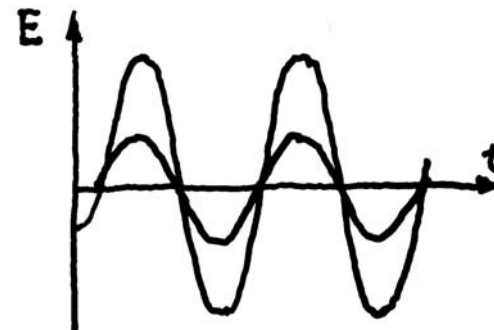
Przejścia w układzie
trójpoziomowym



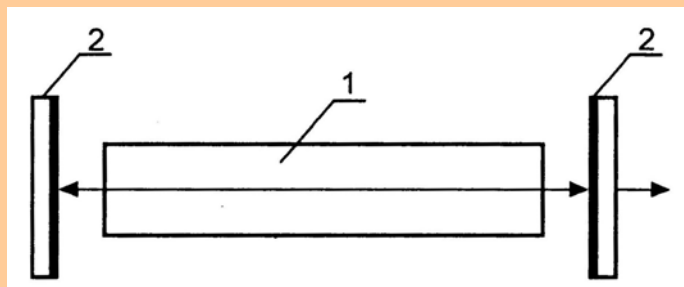
Emisja spontaniczna



Emisja wymuszona



Zasada działania lasera



Schemat lasera:

1 – ośrodek czynny,

2 – zwierciadła (rezonator)

1. Wzbudzenie ośrodka (pompowanie) przez:

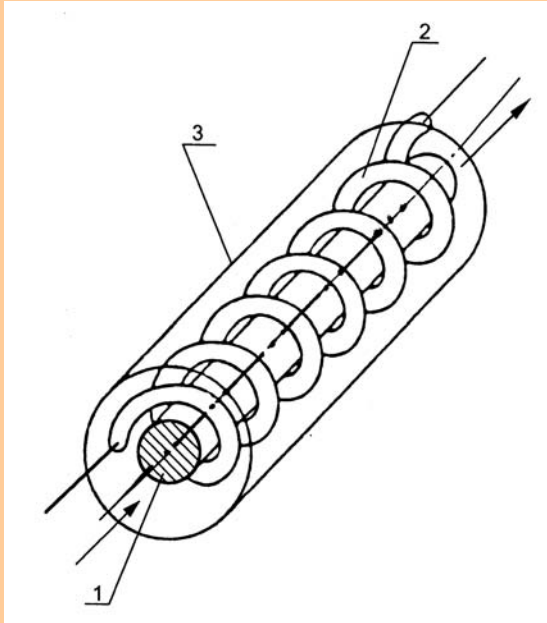
- napromieniowanie lampą błyskową (np. ośrodki krystaliczne),
- wyładowania elektryczne (w ośrodkach gazowych),
- wstrzykiwanie elektronów do złącza p-n.

2. Promieniowanie wywołujące emisję wymuszoną (rezonator)

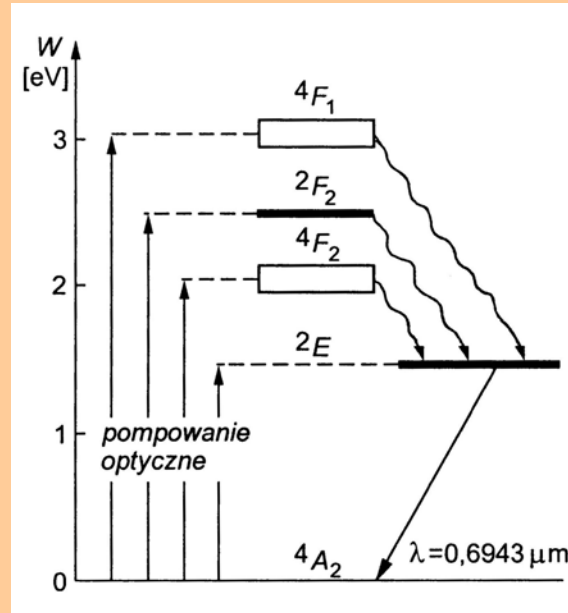
Laser rubinowy

$$20 \text{ J}; t = 5 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

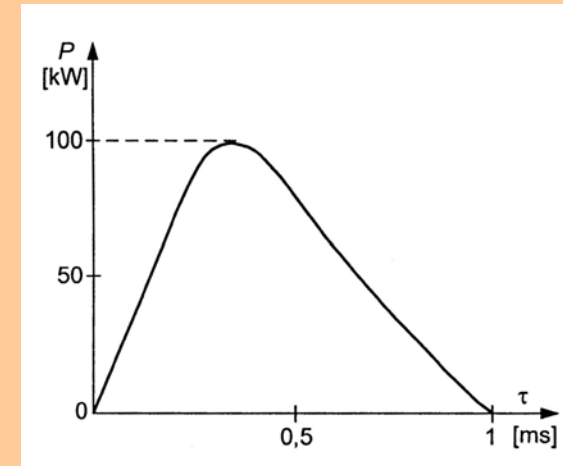
$$P = \frac{20}{5 \cdot 10^{-4}} = 40 \text{ kW}$$



Schemat spiralnej lampy błyskowej lasera



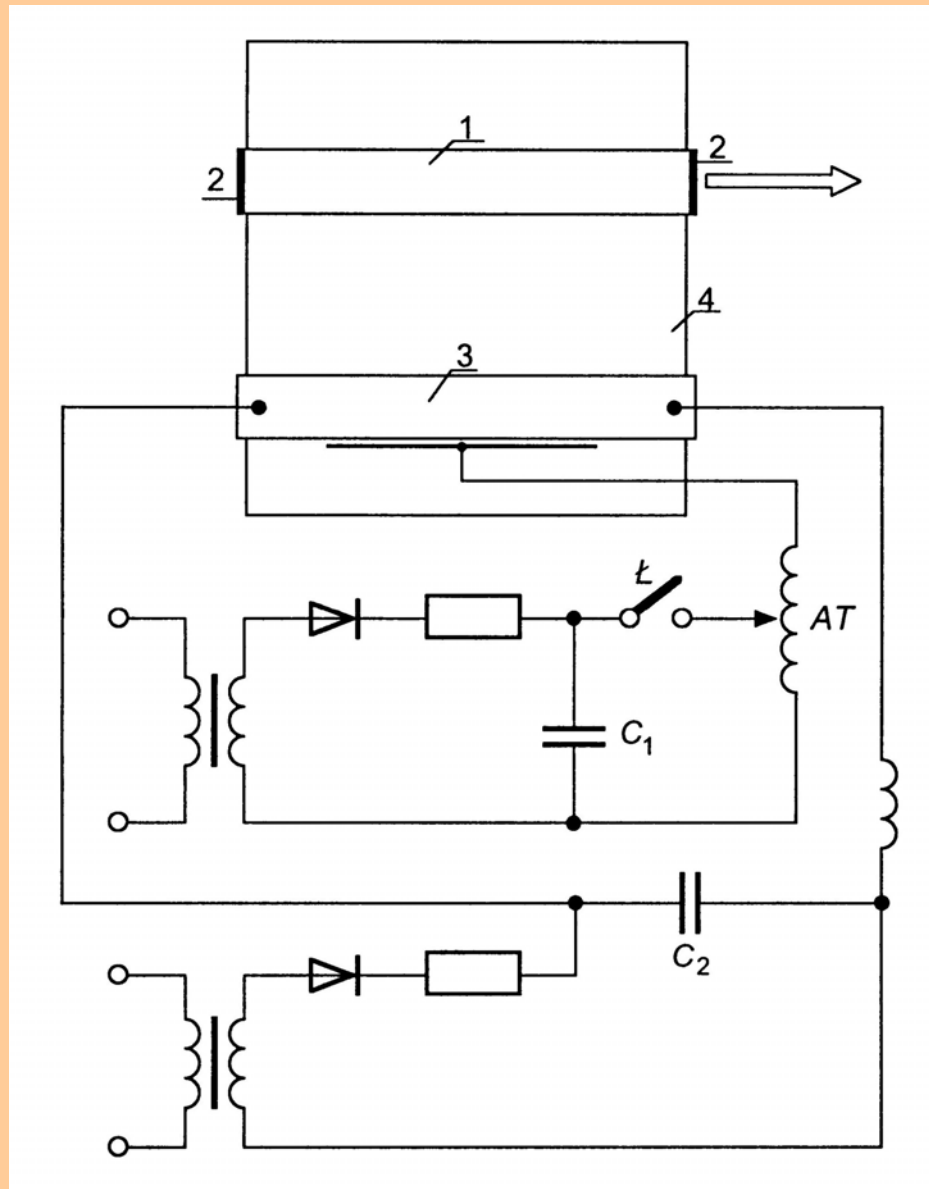
Schemat wzbudzenia w laserze rubinowym



Przykładowy przebieg impulsu laserowego

Pręt rubinowy 1 to kryształ korundu (Al_2O_3) domieszkowany jonami chromu Cr^{3+} (0,05 ÷ 0,5%)

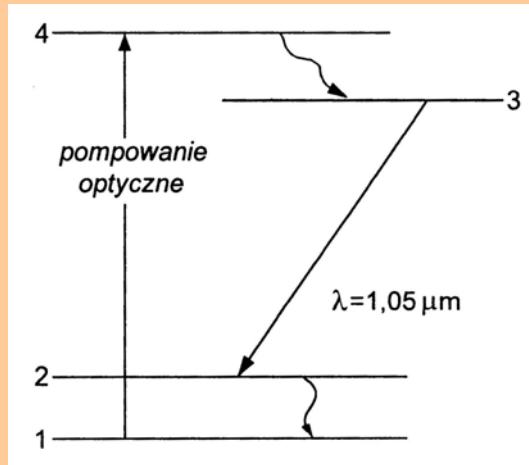
Schemat lasera rubinowego



- 1 – pręt rubinowy,
- 2 – warstwa odbijająca,
- 3 – lampa błyskowa wypełniona ksenonem,
- 4 – zwierciadło eliptyczne.

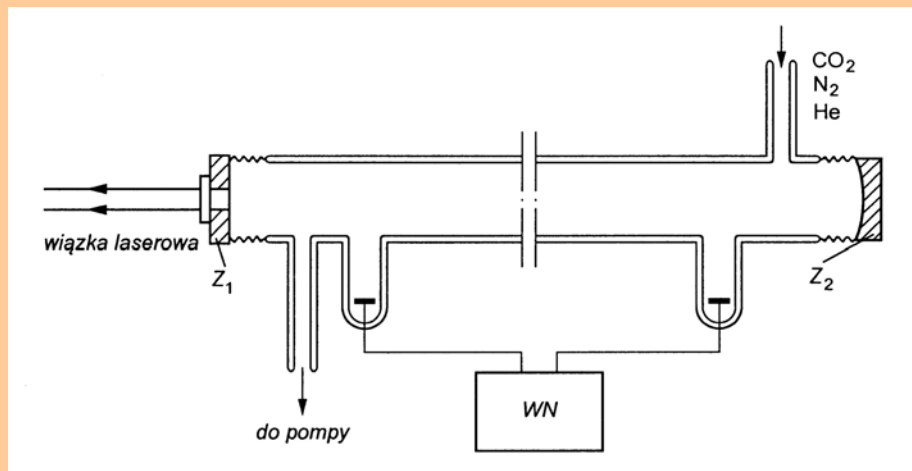
Inne rodzaje laserów

Laser neodymowy (YAG) \Rightarrow jony neodymu Nd^{3+}



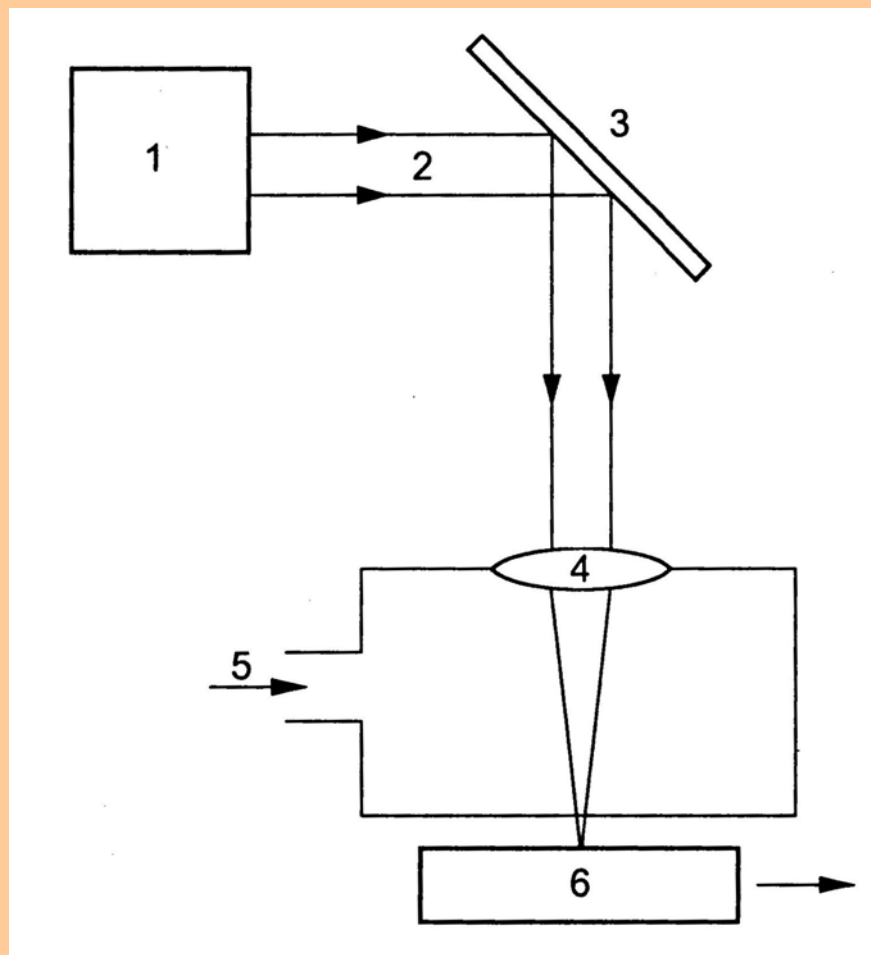
Przejścia w czteropoziomowym układzie energetycznym jonów Nd^{3+}

Laser molekularny na CO_2 + azot + hel



Z_1 – zwierciadło płaskie z otworem,
 Z_2 – zwierciadło sferyczne,
WN – zasilacz wysokiego napięcia

Schemat urządzenia laserowego do cięcia



- 1 - laser,
- 2 - wiązka laserowa,
- 3 - zwierciadło,
- 4 - soczewka,
- 5 - gaz,
- 6 - przecinany materiał

Cechy promieniowania laserowego

Promieniowanie laserowe:

- spójne (koherentne),
- jednobarwne (monochromatyczne),
- jednokierunkowe (małorozbieżne),
- o dużej gęstości mocy.

Porównanie mocy różnych źródeł promieniowania

Źródło promieniowania	Moc jedn. pow. W/cm ₂
Słońce (promienie skupione w ognisku soczewki)	10 ²
Palnik spawalniczy	10 ⁴
Łuk elektryczny	10 ⁵
Plazmotron	5·10 ⁵
Wyrzutnia elektronów	10 ⁹
Laser	10 ⁸ ÷ 10 ¹⁴

Dziękuję za uwagę