C.01.01 – Ciclo Otto de Tempo Finito de Adição de Calor

FTHA – Finite-Time Heat Addition Otto Engine Model

Prof. C. Naaktgeboren, PhD

https://github.com/CNThermSci/ApplThermSci

Compiled on 2020-08-13 17h20m51s UTC

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Melhorando o Ciclo Otto Ideal

O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:

Melhorando o Ciclo Otto Ideal

O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:

- Assume todas as hipóteses padrão a ar;

Melhorando o Ciclo Otto Ideal

O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:

- Assume todas as hipóteses padrão a ar;

- Gás ideal;

Melhorando o Ciclo Otto Ideal

O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:

- Assume todas as hipóteses padrão a ar;
  - Gás ideal;
  - Processos internamente reversíveis;

Melhorando o Ciclo Otto Ideal

O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:

- Assume todas as hipóteses padrão a ar;
  - Gás ideal;
  - Processos internamente reversíveis;
  - Entrada de calor modela a combustão;

Melhorando o Ciclo Otto Ideal

O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:

- Assume todas as hipóteses padrão a ar;
  - Gás ideal;
  - Processos internamente reversíveis;
  - Entrada de calor modela a combustão;
  - Saída de calor modela a exaustão;

Melhorando o Ciclo Otto Ideal

O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:

- Assume todas as hipóteses padrão a ar;

- Gás ideal;
- Processos internamente reversíveis;
- Entrada de calor modela a combustão;
- Saída de calor modela a exaustão;
- Modelo em ciclo fechado;

Melhorando o Ciclo Otto Ideal

O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:

- Assume todas as hipóteses padrão a ar;
- Assume entrada de calor isocórica;

- Gás ideal;
- Processos internamente reversíveis;
- Entrada de calor modela a combustão;
- Saída de calor modela a exaustão;
- Modelo em ciclo fechado;

Melhorando o Ciclo Otto Ideal

O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:

- Assume todas as hipóteses padrão a ar;
- Assume entrada de calor isocórica;
- Possui parâmetros r e k, e

- Gás ideal;
- Processos internamente reversíveis;
- Entrada de calor modela a combustão;
- Saída de calor modela a exaustão;
- Modelo em ciclo fechado;

Melhorando o Ciclo Otto Ideal

O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:

- Assume todas as hipóteses padrão a ar;
- Assume entrada de calor isocórica;
- Possui parâmetros r e k, e
- Solução analítica, hip. padrão a ar frio:

- Gás ideal;
- Processos internamente reversíveis;
- Entrada de calor modela a combustão;
- Saída de calor modela a exaustão;
- Modelo em ciclo fechado;

Melhorando o Ciclo Otto Ideal

O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:

- Assume todas as hipóteses padrão a ar;
- Assume entrada de calor isocórica;
- Possui parâmetros r e k, e
- Solução analítica, hip. padrão a ar frio:

- Gás ideal;
- Processos internamente reversíveis;
- Entrada de calor modela a combustão;
- Saída de calor modela a exaustão;
- Modelo em ciclo fechado;
- Calores específicos constantes.

Melhorando o Ciclo Otto Ideal

O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:

- Assume todas as hipóteses padrão a ar;
- Assume entrada de calor isocórica;
- Possui parâmetros r e k, e
- Solução analítica, hip. padrão a ar frio:

$$\eta_t = 1 - r^{1-k} \quad \rightarrow$$

- Gás ideal;
- Processos internamente reversíveis;
- Entrada de calor modela a combustão;
- Saída de calor modela a exaustão;
- Modelo em ciclo fechado;
- Calores específicos constantes.

Melhorando o Ciclo Otto Ideal

O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:

- Assume todas as hipóteses padrão a ar;
- Assume entrada de calor isocórica;
- Possui parâmetros r e k, e
- Solução analítica, hip. padrão a ar frio:

$$\eta_t = 1 - r^{1-k} \quad \to$$

- $\eta_t : \eta_t(r,k)$ apenas!

- Gás ideal;
- Processos internamente reversíveis;
- Entrada de calor modela a combustão;
- Saída de calor modela a exaustão;
- Modelo em ciclo fechado;
- Calores específicos constantes.

Desvios do ciclo Otto ideal—incluem, mas não limitados a:

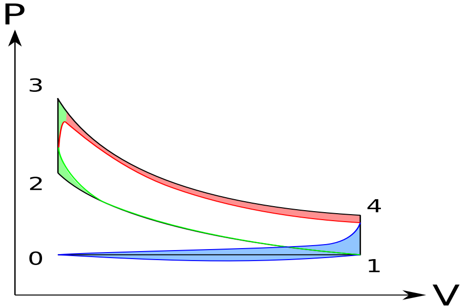


Diagrama $P - V$ ilustrativo de perdas por (i) combustão não instantânea—verde, (ii) transferência de calor—vermelho—e de (iii) bombeamento—azul. Fonte: adaptado de Wikimedia Commons.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6c/P-V_diagram_deviations_to_Otto_cycle.svg.

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Modela combustão (adição de calor) de forma não instantânea:

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Modela combustão (adição de calor) de forma não instantânea:
  - Interações simultâneas de calor e trabalho;

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Modela combustão (adição de calor) de forma não instantânea:
  - Interações simultâneas de calor e trabalho;
  - Tempos de motor discretizados em sub-processos;

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Modela combustão (adição de calor) de forma não instantânea:
  - Interações simultâneas de calor e trabalho;
  - Tempos de motor discretizados em sub-processos;
  - Elemento computacional: sub-processo localmente politrópico.

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Modela combustão (adição de calor) de forma não instantânea:
  - Interações simultâneas de calor e trabalho;
  - Tempos de motor discretizados em sub-processos;
  - Elemento computacional: sub-processo localmente politrópico.
- Mantém-se como modelo padrão a ar:

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Modela combustão (adição de calor) de forma não instantânea:
  - Interações simultâneas de calor e trabalho;
  - Tempos de motor discretizados em sub-processos;
  - Elemento computacional: sub-processo localmente politrópico.
- Mantém-se como modelo padrão a ar:
  - Transferência de calor para bloco inclui irreversibilidades;

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Modela combustão (adição de calor) de forma não instantânea:
  - Interações simultâneas de calor e trabalho;
  - Tempos de motor discretizados em sub-processos;
  - Elemento computacional: sub-processo localmente politrópico.
- Mantém-se como modelo padrão a ar:
  - Transferência de calor para bloco inclui irreversibilidades;
  - Perdas de bombeamento envolvem sistema e ciclo abertos.

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Modela combustão (adição de calor) de forma não instantânea:
  - Interações simultâneas de calor e trabalho;
  - Tempos de motor discretizados em sub-processos;
  - Elemento computacional: sub-processo localmente politrópico.
- Mantém-se como modelo padrão a ar:
  - Transferência de calor para bloco inclui irreversibilidades;
  - Perdas de bombeamento envolvem sistema e ciclo abertos.
- Mantém-se como modelo de substância pura:

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Modela combustão (adição de calor) de forma não instantânea:
  - Interações simultâneas de calor e trabalho;
  - Tempos de motor discretizados em sub-processos;
  - Elemento computacional: sub-processo localmente politrópico.
- Mantém-se como modelo padrão a ar:
  - Transferência de calor para bloco inclui irreversibilidades;
  - Perdas de bombeamento envolvem sistema e ciclo abertos.
- Mantém-se como modelo de substância pura:
  - Evita combustão e equilíbrio químico;

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Modela combustão (adição de calor) de forma não instantânea:
  - Interações simultâneas de calor e trabalho;
  - Tempos de motor discretizados em sub-processos;
  - Elemento computacional: sub-processo localmente politrópico.
- Mantém-se como modelo padrão a ar:
  - Transferência de calor para bloco inclui irreversibilidades;
  - Perdas de bombeamento envolvem sistema e ciclo abertos.
- Mantém-se como modelo de substância pura:
  - Evita combustão e equilíbrio químico;
  - Evita modelagem termodinâmica de misturas reativas.

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Inclui todos os parâmetros do ciclo Otto ideal:

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Inclui todos os parâmetros do ciclo Otto ideal:
  - Razão de compressão do motor;

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Inclui todos os parâmetros do ciclo Otto ideal:
  - Razão de compressão do motor;
  - Calores específicos do fluido de trabalho.

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Inclui todos os parâmetros do ciclo Otto ideal:
  - Razão de compressão do motor;
  - Calores específicos do fluido de trabalho.
- Inclui parâmetros construtivos do motor:

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Inclui todos os parâmetros do ciclo Otto ideal:
  - Razão de compressão do motor;
  - Calores específicos do fluido de trabalho.
- Inclui parâmetros construtivos do motor:
  - Conjunto pistão-cilindro;

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Inclui todos os parâmetros do ciclo Otto ideal:
  - Razão de compressão do motor;
  - Calores específicos do fluido de trabalho.
- Inclui parâmetros construtivos do motor:
  - Conjunto pistão-cilindro;
  - Mecanismo biela-manivela.

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Inclui todos os parâmetros do ciclo Otto ideal:
  - Razão de compressão do motor;
  - Calores específicos do fluido de trabalho.
- Inclui parâmetros construtivos do motor:
  - Conjunto pistão-cilindro;
  - Mecanismo biela-manivela.
- Inclui parâmetros operacionais do motor:

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Inclui todos os parâmetros do ciclo Otto ideal:
  - Razão de compressão do motor;
  - Calores específicos do fluido de trabalho.
- Inclui parâmetros construtivos do motor:
  - Conjunto pistão-cilindro;
  - Mecanismo biela-manivela.
- Inclui parâmetros operacionais do motor:
  - Velocidade angular (rotação);

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

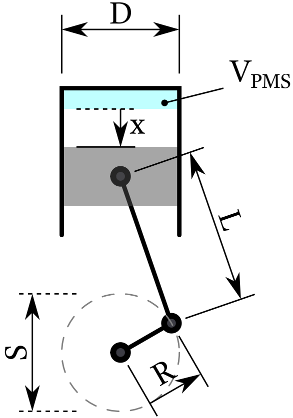
- Inclui todos os parâmetros do ciclo Otto ideal:
  - Razão de compressão do motor;
  - Calores específicos do fluido de trabalho.
- Inclui parâmetros construtivos do motor:
  - Conjunto pistão-cilindro;
  - Mecanismo biela-manivela.
- Inclui parâmetros operacionais do motor:
  - Velocidade angular (rotação);
  - Ângulo de ignição e

Ciclo Otto padrão a ar de tempo finito de adição de calor—FTHA

- Inclui todos os parâmetros do ciclo Otto ideal:
  - Razão de compressão do motor;
  - Calores específicos do fluido de trabalho.
- Inclui parâmetros construtivos do motor:
  - Conjunto pistão-cilindro;
  - Mecanismo biela-manivela.
- Inclui parâmetros operacionais do motor:
  - Velocidade angular (rotação);
  - Ângulo de ignição e
  - Duração da combustão.

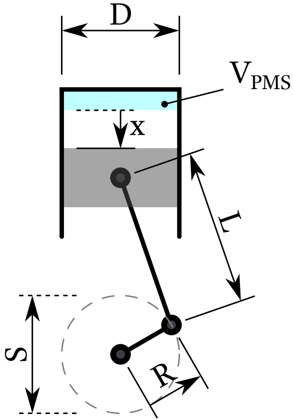
Parâmetros do mecanismo

- Diâmetro do pistão/cilindro, D;



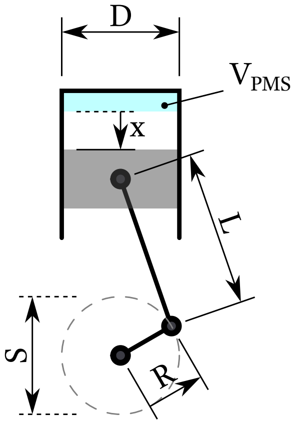
Parâmetros do mecanismo

- Diâmetro do pistão/cilindro, D;
- Raio da manivela, R;



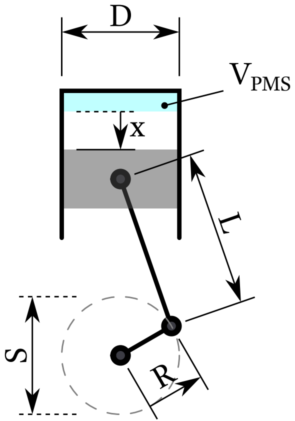
Parâmetros do mecanismo

- Diâmetro do pistão/cilindro, D;
- Raio da manivela, R;
- Curso do pistão, $S = 2R$;



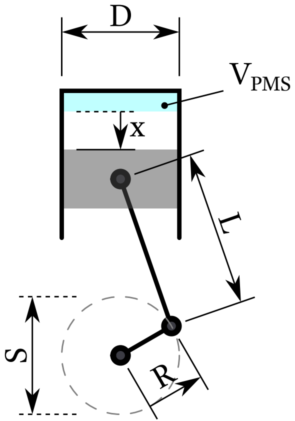
Parâmetros do mecanismo

- Diâmetro do pistão/cilindro, D;
- Raio da manivela, R;
- Curso do pistão, $S = 2R$;
- Comprimento da biela, L;



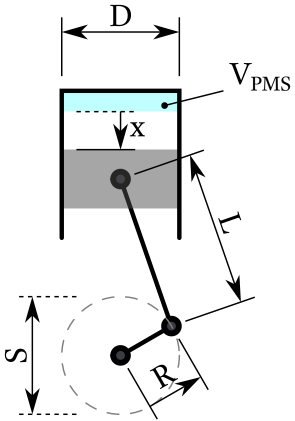
Parâmetros do mecanismo

- Diâmetro do pistão/cilindro, D;
- Raio da manivela, R;
- Curso do pistão, $S = 2R$;
- Comprimento da biela, L;
- Volume morto (do PMS), V_{PMS};



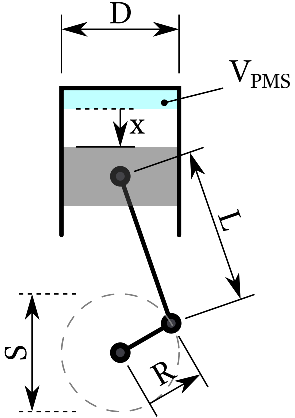
Parâmetros do mecanismo

- Diâmetro do pistão/cilindro, D;
- Raio da manivela, R;
- Curso do pistão, $S = 2R$;
- Comprimento da biela, L;
- Volume morto (do PMS), V_{PMS};
- Volume máximo (do PMI), V_{PMI};



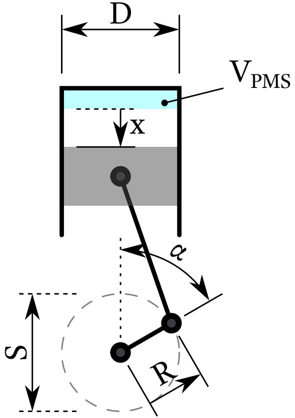
Parâmetros do mecanismo

- Diâmetro do pistão/cilindro, D;
- Raio da manivela, R;
- Curso do pistão, $S = 2R$;
- Comprimento da biela, L;
- Volume morto (do PMS), V_{PMS};
- Volume máximo (do PMI), V_{PMI};
- Razão de compressão, $r = \dfrac{V_{\text{PMS}}}{V_{\text{PMI}}}$.



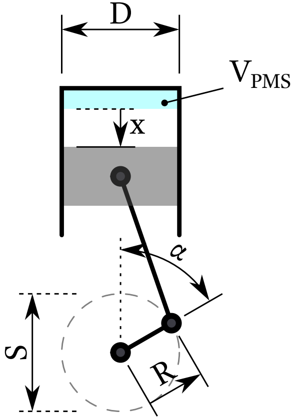
Parâmetros do mecanismo

- Posição do pistão (rel. PMS), x;



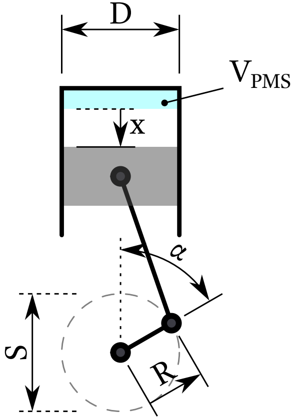
Parâmetros do mecanismo

- Posição do pistão (rel. PMS), x;
- Ângulo do virabrequim (rel. PMS), α;



Parâmetros do mecanismo

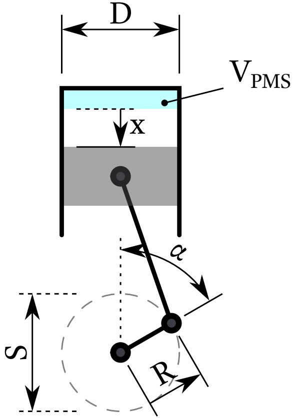
- Posição do pistão (rel. PMS), x;
- Ângulo do virabrequim (rel. PMS), α;
- Volume instantâneo, V;



Parâmetros do mecanismo

- Posição do pistão (rel. PMS), x;
- Ângulo do virabrequim (rel. PMS), α;
- Volume instantâneo, V;

$$x(\alpha) = L\left(1 - \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}\sin^2\alpha}\right) + R(1 - \cos\alpha)$$

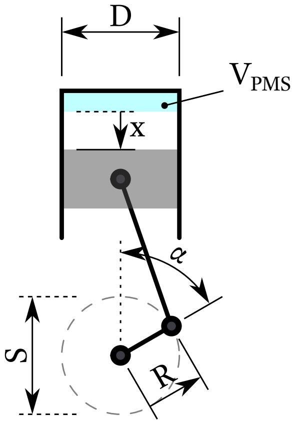


Parâmetros do mecanismo

- Posição do pistão (rel. PMS), x;
- Ângulo do virabrequim (rel. PMS), α;
- Volume instantâneo, V;

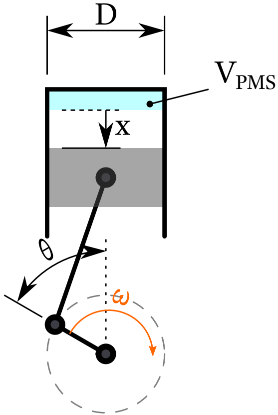
$$x(\alpha) = L\left(1 - \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}\sin^2\alpha}\right) + R(1 - \cos\alpha)$$

$$V(\alpha) = \frac{\pi x(\alpha)}{4}D^2 + V_{PMS} \quad \to \quad v(\alpha) = \frac{V(\alpha)}{m_0}$$



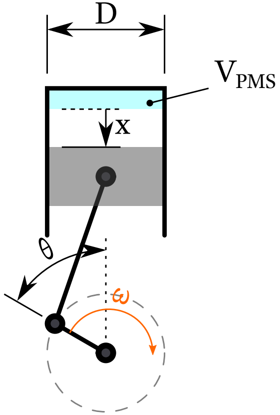
Parâmetros de tempo do motor

- Ângulo de ignição (rel. PMS), θ;



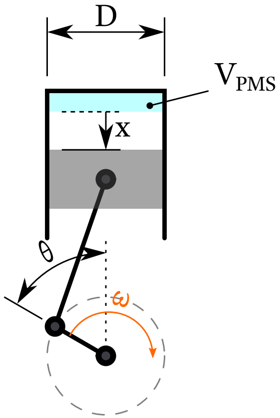
Parâmetros de tempo do motor

- Ângulo de ignição (rel. PMS), θ;
- Duração da combustão, Δt_c;



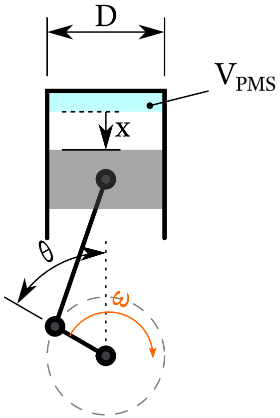
Parâmetros de tempo do motor

- Ângulo de ignição (rel. PMS), θ;
- Duração da combustão, Δt_c;
- Velocidade angular, $\omega \equiv \dfrac{d\alpha}{dt} = 2\pi N/60$;



Parâmetros de tempo do motor

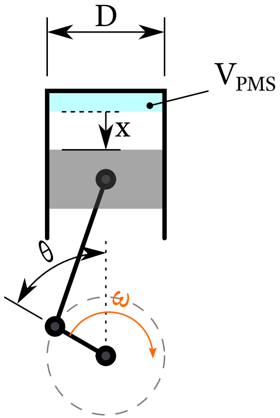
- Ângulo de ignição (rel. PMS), θ;
- Duração da combustão, Δt_c;
- Velocidade angular, $\omega \equiv \dfrac{d\alpha}{dt} = 2\pi N/60$;
- "Duração angular" da combustão, $\delta = \omega \Delta t_c$;



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

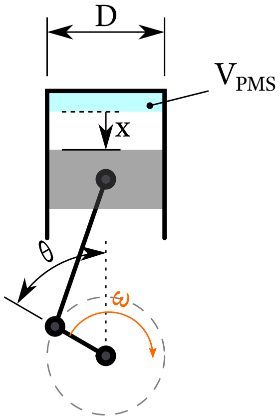
Parâmetros de tempo do motor

- Ângulo de ignição (rel. PMS), θ;
- Duração da combustão, Δt_c;
- Velocidade angular, $\omega \equiv \dfrac{d\alpha}{dt} = 2\pi N/60$;
- "Duração angular" da combustão, $\delta = \omega \Delta t_c$;
- Casos de ω constante—discretização em α:
  - Intervalo de simulação: $-\pi \leqslant \alpha \leqslant +3\pi$;



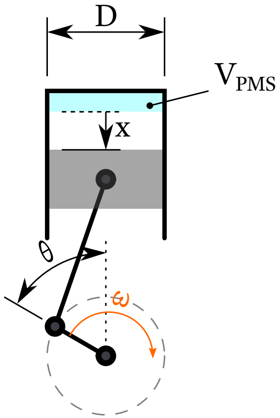
Parâmetros de tempo do motor

- Ângulo de ignição (rel. PMS), θ;
- Duração da combustão, Δt_c;
- Velocidade angular, $\omega \equiv \dfrac{d\alpha}{dt} = 2\pi N/60$;
- "Duração angular" da combustão, $\delta = \omega \Delta t_c$;
- Casos de ω constante—discretização em α:
  - Intervalo de simulação: $-\pi \leqslant \alpha \leqslant +3\pi$;
  - Intervalo de adição de calor: $\theta \leqslant \alpha \leqslant \theta + \delta$.



Parâmetros de tempo do motor

- Ângulo de ignição (rel. PMS), θ;
- Duração da combustão, Δt_c;
- Velocidade angular, $\omega \equiv \dfrac{d\alpha}{dt} = 2\pi N/60$;
- "Duração angular" da combustão, $\delta = \omega \Delta t_c$;
- Casos de ω constante—discretização em α:
  - Intervalo de simulação: $-\pi \leqslant \alpha \leqslant +3\pi$;
  - Intervalo de adição de calor: $\theta \leqslant \alpha \leqslant \theta + \delta$.
- Casos de ω variável—discretização em t.



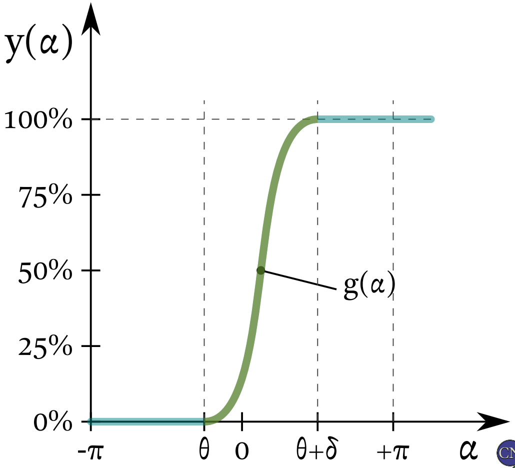
Modelo de Adição de Calor, $q(\alpha)$

$$q(\alpha) = q_{ent} \cdot y(\alpha), \quad \text{com}$$

Modelo de Adição de Calor, $q(\alpha)$

$$q(\alpha) = q_{ent} \cdot y(\alpha), \quad \text{com}$$

$$y(\alpha) = \begin{cases} 0 & \text{para } \alpha < \theta, \\ g(\alpha) & \text{para } \theta \leqslant \alpha \leqslant \theta + \delta, \\ 1 & \text{para } \alpha > \theta + \delta. \end{cases}$$

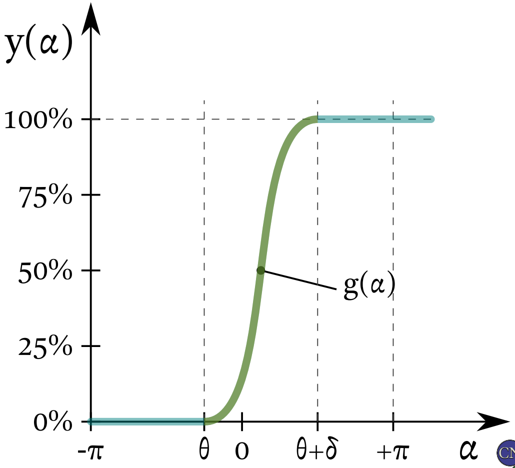


Modelo de Adição de Calor, $q(\alpha)$

$$q(\alpha) = q_{ent} \cdot y(\alpha), \quad \text{com}$$

$$y(\alpha) = \begin{cases} 0 & \text{para } \alpha < \theta, \\ g(\alpha) & \text{para } \theta \leqslant \alpha \leqslant \theta + \delta, \\ 1 & \text{para } \alpha > \theta + \delta. \end{cases}$$

- $g(\alpha)$ modela o histórico da ad. de calor:

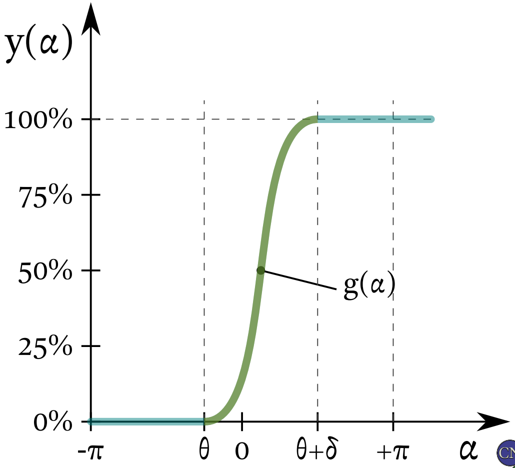


Modelo de Adição de Calor, $q(\alpha)$

$$q(\alpha) = q_{ent} \cdot y(\alpha), \quad \text{com}$$

$$y(\alpha) = \begin{cases} 0 & \text{para } \alpha < \theta, \\ g(\alpha) & \text{para } \theta \leqslant \alpha \leqslant \theta + \delta, \\ 1 & \text{para } \alpha > \theta + \delta. \end{cases}$$

- $g(\alpha)$ modela o histórico da ad. de calor:
  - $g(\theta) = 0$ e $g(\theta + \delta) = 1$;

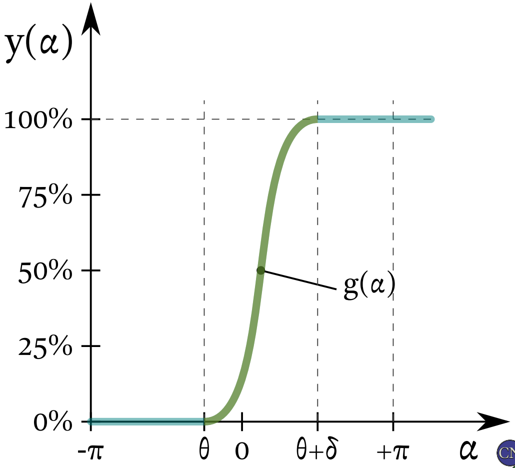


Modelo de Adição de Calor, $q(\alpha)$

$$q(\alpha) = q_{ent} \cdot y(\alpha), \quad \text{com}$$

$$y(\alpha) = \begin{cases} 0 & \text{para } \alpha < \theta, \\ g(\alpha) & \text{para } \theta \leqslant \alpha \leqslant \theta + \delta, \\ 1 & \text{para } \alpha > \theta + \delta. \end{cases}$$

- $g(\alpha)$ modela o histórico da ad. de calor:
    - $g(\theta) = 0$ e $g(\theta + \delta) = 1$;
    - Função $g(\alpha)$ deve ser monotônica;

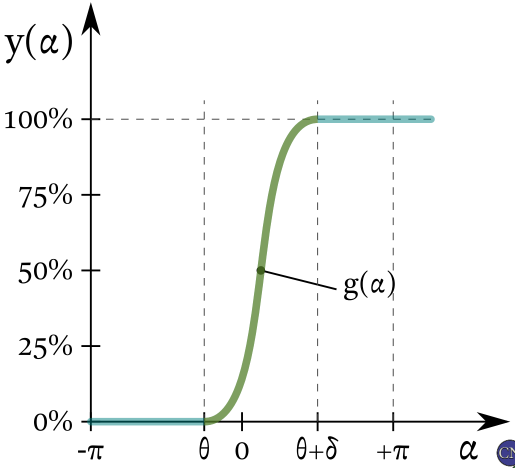


Modelo de Adição de Calor, $q(\alpha)$

$$q(\alpha) = q_{ent} \cdot y(\alpha), \quad \text{com}$$

$$y(\alpha) = \begin{cases} 0 & \text{para } \alpha < \theta, \\ g(\alpha) & \text{para } \theta \leqslant \alpha \leqslant \theta + \delta, \\ 1 & \text{para } \alpha > \theta + \delta. \end{cases}$$

- $g(\alpha)$ modela o histórico da ad. de calor:
  - $g(\theta) = 0$ e $g(\theta + \delta) = 1$;
  - Função $g(\alpha)$ deve ser monotônica;
  - $g(\alpha)$ pode basear-se em experimentos;

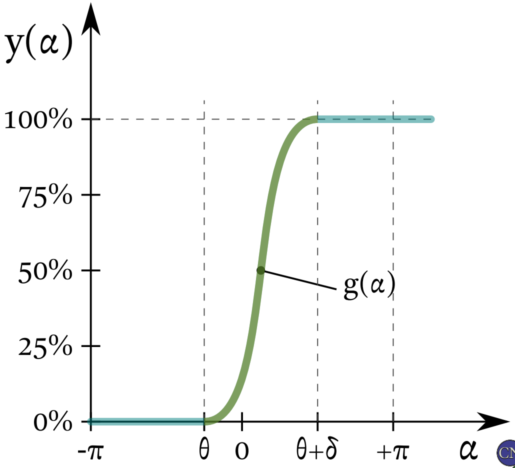


Modelo de Adição de Calor, $q(\alpha)$

$$q(\alpha) = q_{ent} \cdot y(\alpha), \quad \text{com}$$

$$y(\alpha) = \begin{cases} 0 & \text{para } \alpha < \theta, \\ g(\alpha) & \text{para } \theta \leqslant \alpha \leqslant \theta + \delta, \\ 1 & \text{para } \alpha > \theta + \delta. \end{cases}$$

- $g(\alpha)$ modela o histórico da ad. de calor:
  - $g(\theta) = 0$ e $g(\theta + \delta) = 1$;
  - Função $g(\alpha)$ deve ser monotônica;
  - $g(\alpha)$ pode basear-se em experimentos;
  - Lit.: $g(\alpha) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\cos\left(\frac{\pi}{\delta}(\alpha - \theta)\right)$.



Equações Termodinâmicas

(Sub-)Processo politrópico $i | i \in \mathbb{Z}$:

Equações Termodinâmicas

(Sub-)Processo politrópico $i|i \in \mathbb{Z}$:

- Sistema evolui do estado-i para o estado-$(i+1)$.

Equações Termodinâmicas

(Sub-)Processo politrópico $i | i \in \mathbb{Z}$:

- Sistema evolui do estado-i para o estado-$(i+1)$.
- Estados com propriedades P_i, T_i, v_i, u_i, etc.

Equações Termodinâmicas

(Sub-)Processo politrópico $i | i \in \mathbb{Z}$:

- Sistema evolui do estado-i para o estado-$(i+1)$.
- Estados com propriedades P_i, T_i, v_i, u_i, etc.
- Interações do processo são q_i e w_i.

Equações Termodinâmicas

(Sub-)Processo politrópico $i | i \in \mathbb{Z}$:

- Sistema evolui do estado-i para o estado-$(i+1)$.
- Estados com propriedades P_i, T_i, v_i, u_i, etc.
- Interações do processo são q_i e w_i.

Balanço de energia de processo:

Equações Termodinâmicas

(Sub-)Processo politrópico $i | i \in \mathbb{Z}$:

- Sistema evolui do estado-i para o estado-$(i+1)$.
- Estados com propriedades P_i, T_i, v_i, u_i, etc.
- Interações do processo são q_i e w_i.

Balanço de energia de processo:

$$q_i + w_i = \Delta u_i = u_{i+1} - u_i$$

Equações Termodinâmicas

(Sub-)Processo politrópico $i|i \in \mathbb{Z}$:

- Sistema evolui do estado-i para o estado-$(i+1)$.
- Estados com propriedades P_i, T_i, v_i, u_i, etc.
- Interações do processo são q_i e w_i.

Balanço de energia de processo:

$$q_i + w_i = \Delta u_i = u_{i+1} - u_i \quad \rightarrow$$

Equações Termodinâmicas

(Sub-)Processo politrópico $i|i \in \mathbb{Z}$:

- Sistema evolui do estado-i para o estado-$(i+1)$.
- Estados com propriedades P_i, T_i, v_i, u_i, etc.
- Interações do processo são q_i e w_i.

Balanço de energia de processo:

$$q_i + w_i = \Delta u_i = u_{i+1} - u_i \quad \rightarrow$$

$$u_{i+1} = u_i + q_i + w_i, \quad \text{com,}$$

Equações Termodinâmicas

$$q_i = q_{ent} \cdot (y_{i+1} - y_i)$$

Equações Termodinâmicas

$$q_i = q_{ent} \cdot (y_{i+1} - y_i) \quad \rightarrow$$

Equações Termodinâmicas

$$q_i = q_{ent} \cdot (y_{i+1} - y_i) \quad \rightarrow$$

$$q_i = q_{ent} \cdot [y(\alpha_{i+1}) - y(\alpha_i)], \quad \text{e}$$

Equações Termodinâmicas

$$q_i = q_{ent} \cdot (y_{i+1} - y_i) \quad \rightarrow$$

$$q_i = q_{ent} \cdot [y(\alpha_{i+1}) - y(\alpha_i)], \quad \text{e}$$

$$w_i = \int_{v_i}^{v_{i+1}} (P_i v_i^{n_i}) v^{-n_i} \, dv,$$

Equações Termodinâmicas

$$q_i = q_{ent} \cdot (y_{i+1} - y_i) \quad \rightharpoondown$$

$$q_i = q_{ent} \cdot [y(\alpha_{i+1}) - y(\alpha_i)], \quad \text{e}$$

$$w_i = \int_{v_i}^{v_{i+1}} (P_i v_i^{n_i}) v^{-n_i} \, dv, \quad \rightharpoondown$$

Equações Termodinâmicas

$$q_i = q_{ent} \cdot (y_{i+1} - y_i) \quad \rightharpoondown$$

$$q_i = q_{ent} \cdot [y(\alpha_{i+1}) - y(\alpha_i)], \quad \text{e}$$

$$w_i = \int_{v_i}^{v_{i+1}} (P_i v_i^{n_i}) v^{-n_i} \, dv, \quad \rightharpoondown$$

$$w_i = \begin{cases} \dfrac{P_i}{1 - n_i} \left(v_i - \dfrac{v_i^{n_i}}{v_{i+1}^{n_i - 1}} \right) & \text{, para } n_i \neq 1, \\ P_i v_i \ln \dfrac{v_i}{v_{i+1}} & \text{, para } n_i = 1. \end{cases}$$

Título

Um template de slide.

Título

Um template de slide.

Tópicos de Leitura I

- Çengel, Y. A. e Boles, M. A.
  Termodinâmica 7ª *Edição*. Seções 9–3 a 9–5.
  AMGH. Porto Alegre. ISBN 978-85-8055-200-3.
- Naaktgeboren, C.
  An air-standard finite-time heat addition Otto engine model.
  Int. J. Mech. Eng. Educ. 45 (2), 2017.
  DOI 10.1177/0306419016689447.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ


Image by Free-Photos from pixabay.com