### 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 2020-07-28 22h57m37s UTC





- Modelagem do Motor
  - Mecanismo Biela-Manivela
  - Tempos (*Timings*) do Motor
- 2 Modelagem do Ciclo
  - Modelo de Substância
  - Procedimento de Solução
- 3 Tópicos de Leitura







O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:





40 + 40 + 43 + 43 +

O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:





O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:

• Assume todas as hipóteses padrão a ar;

Gás ideal;





O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:

- Gás ideal;
- Processos internamente reversíveis;







O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:

- Gás ideal;
- Processos internamente reversíveis;
- Entrada de calor modela a combustão;







O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:

- Gás ideal;
- Processos internamente reversíveis;
- Entrada de calor modela a combustão;
- Saída de calor modela a exaustão;







O ciclo Otto ideal, da termodinâmica aplicada:

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







- 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;







- 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;







- 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;







- 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.







- 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:

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

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







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:

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

•  $\eta_t : \eta_t(r,k)$  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.





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





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





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







- 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.





- 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:







- 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;







- 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.





- 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:







- 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;





- 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.





• Inclui todos os parâmetros do ciclo Otto ideal:





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







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







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







- 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;







- 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 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:







- 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);







- 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







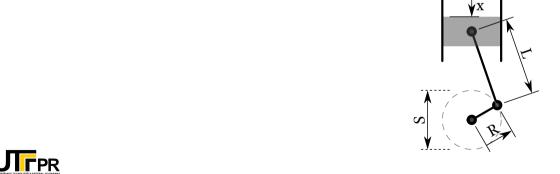
- Inclui todos os parâmetros do ciclo Otto ideal:
  - Razão de compressão do motor;
  - Calores específicos do fluido de trabalho.
- Inclui parâmetros construtivos do motor:
  - Conjunto pistão-cilindro;
  - Mecanismo biela-manivela.
- Inclui parâmetros operacionais do motor:
  - Velocidade angular (rotação);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







• Diâmetro do pistão/cilindro, D;





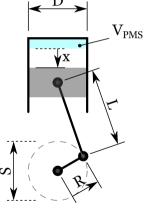


 $V_{PMS}$ 

イロト イプト イミト イミト

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

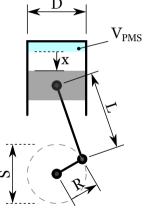






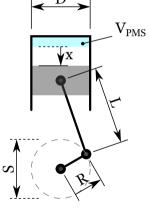
- Diâmetro do pistão/cilindro, D;
- Raio da manivela, R;
- Curso do pistão, S = 2R;







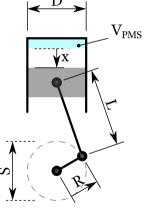
- Diâmetro do pistão/cilindro, D;
- Raio da manivela, R;
- Curso do pistão, S = 2R;
- Comprimento da biela, *L*;







- Diâmetro do pistão/cilindro, D;
- Raio da manivela, *R*;
- Curso do pistão, S = 2R;
- Comprimento da biela, *L*;
- Volume morto (do PMS), V<sub>PMS</sub>;

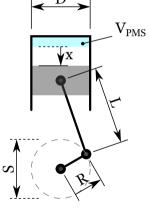








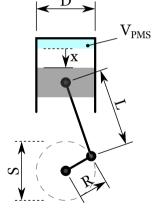
- Diâmetro do pistão/cilindro, D;
- Raio da manivela, *R*;
- Curso do pistão, S = 2R;
- Comprimento da biela, *L*;
- Volume morto (do PMS), V<sub>PMS</sub>;
- Volume máximo (do PMI), V<sub>PMI</sub>;







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



4 D > 4 A > 4 B > 4 B >





• Posição do pistão (rel. PMS), x;

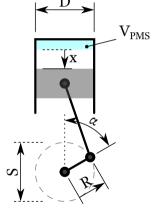








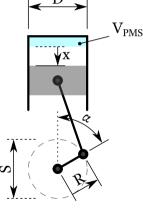
- Posição do pistão (rel. PMS), x;
- Ângulo do virabrequim (rel. PMS), α;







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



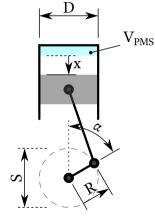
4 0 1 4 4 4 5 1 4 5 1





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

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



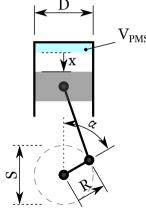




- Posição do pistão (rel. PMS), x;
- Ângulo do virabrequim (rel. PMS), α;
- Volume instantâneo, *V*;

$$x(\alpha) = L\left(1 - \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}\sin^2\alpha}\right) + R(1 - \cos\alpha)$$
$$V = \frac{\pi x}{4}D^2 + V_{\text{PMS}}$$











Um template de slide.

De duas colunas.























# 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.





