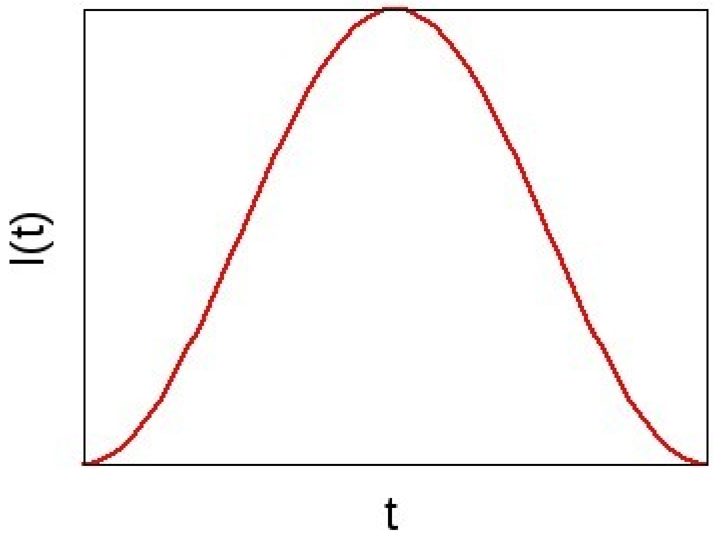
1. Deterministische Lasten

- Der Wert einer deterministischen Last kann zu jedem Zeitpunkt mit hinreichender Genauigkeit angegeben werden.
- Der zeitliche Verlauf einer deterministischen Last ist reproduzierbar.
- Nach Art des zeitlichen Verlaufs lassen sich unterscheiden:
  - transiente Lasten
  - periodische Lasten
  - harmonische Lasten

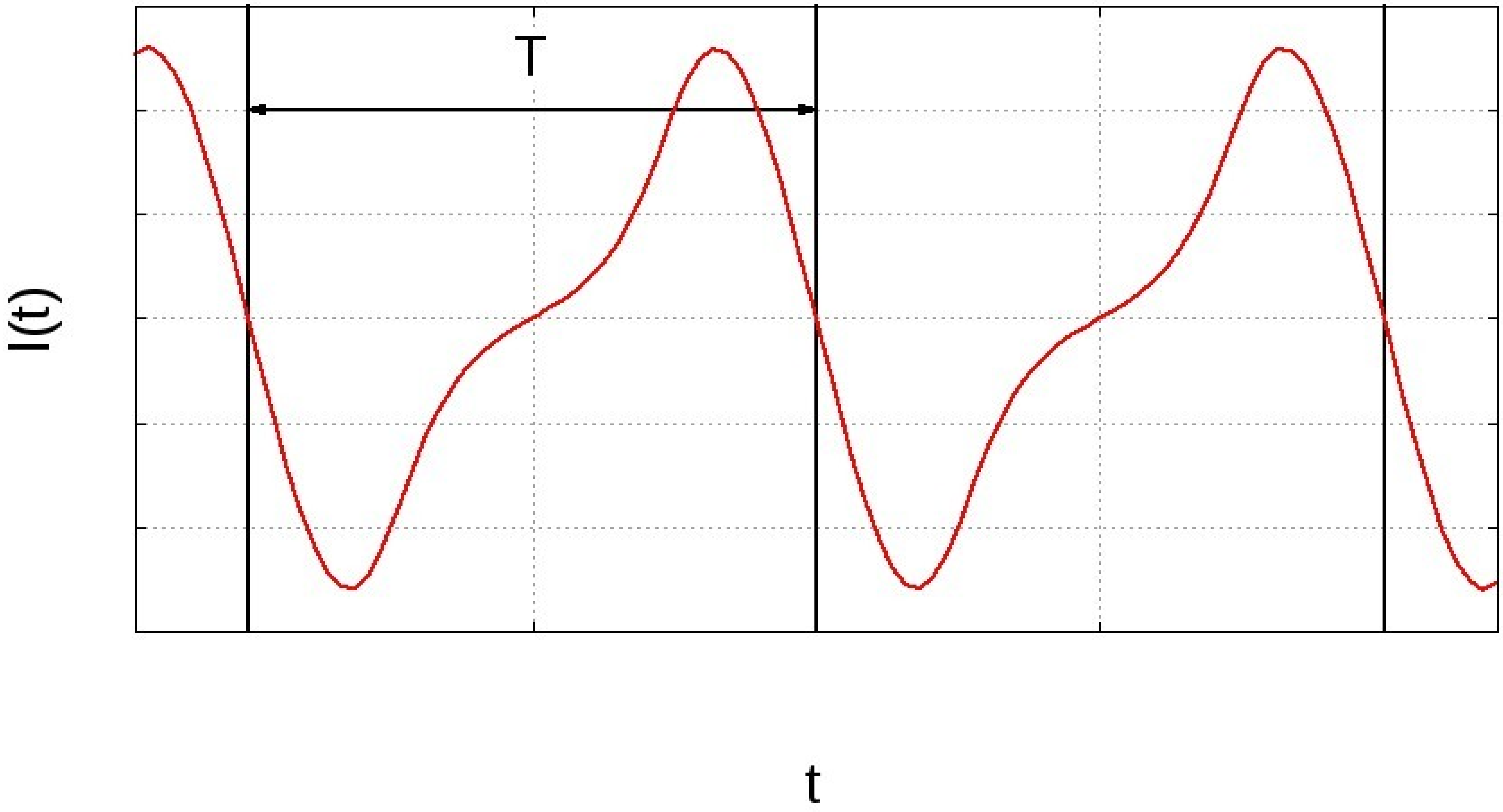
1. Deterministische Lasten

1.1 Transiente Lasten

- Der zeitliche Verlauf der Last hängt beliebig von der Zeit ab.
- Beispiele:
  - Ein- und Ausschaltvorgänge
  - Lenkbewegungen
  - (Schwellenüberfahrt eines PKW)
  - (Landestoß beim Flugzeug)
  - (Bö)



1.2 Periodische Lasten



1.2 Periodische Lasten

- Definitionen:
  - Bei einer periodischen Last gibt es eine Zeit T, nach der sich der zeitliche Verlauf der Last wiederholt.
  - Die Zeit T wird als *Periode* oder *Schwingungsdauer* bezeichnet.
  - Der Kehrwert der Periode ist die *Frequenz* f. Sie gibt die Anzahl der Wiederholungen pro Zeiteinheit an.
  - Die Einheit der Frequenz ist *Hertz*.

$$l(t+T)=l(t)$$

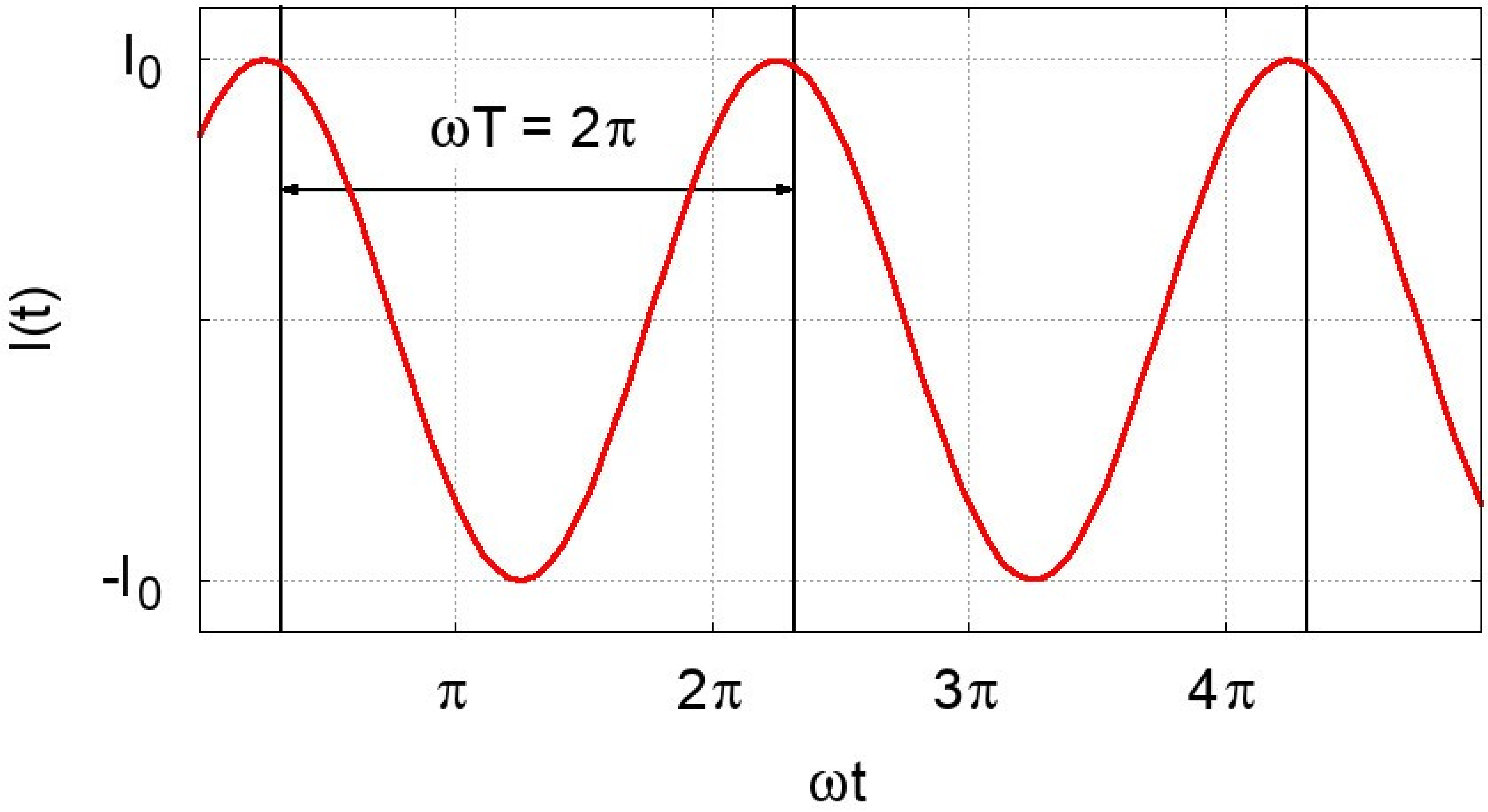
$$f=\frac{1}{T}$$

$$1\,\mathrm{Hz}=\frac{1}{\mathrm{s}}$$

1.2 Periodische Lasten

- Beispiele:
  - Motorlasten bei konstanter Drehzahl
  - Unwucht bei Rotation mit konstanter Drehzahl
  - Getriebelasten bei Rotation mit konstanter Drehzahl
  - Propellerlasten bei konstanter Drehzahl

1.3 Harmonische Lasten



1.3 Harmonische Lasten

- Definitionen:
  - Eine harmonische Last ist eine periodische Last mit einem kosinusförmigen Zeitverlauf:

$$l(t) = l_0 \cos(\omega t + \phi)$$

  - Dabei ist l_0 die *Amplitude*, ϕ der *Phasenwinkel* und

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

die *Kreisfrequenz*.

- Äquivalente Darstellung:
  - Aus

$$l(t) = l_0 \left(\cos(\omega t)\cos(\phi) - \sin(\omega t)\sin(\phi)\right)$$

folgt

$$l(t) = l_s \sin(\omega t) + l_c \cos(\omega t)$$

mit

$$l_s = -l_0 \sin(\phi), \quad l_c = l_0 \cos(\phi)$$

$$l_0 = \sqrt{l_s^2 + l_c^2}, \quad \tan(\phi) = -\frac{l_s}{l_c}$$

1.3 Harmonische Lasten

- Komplexe Darstellung:
  - Es gilt:

$$l(t)=l_0\cos(\omega t+\phi)=\frac{l_0}{2}\left(e^{i(\omega t+\phi)}+e^{-i(\omega t+\phi)}\right)=\Re\left(l_0 e^{i\phi} e^{i\omega t}\right)$$

  - Mit der komplexen Amplitude $L_0=l_0 e^{i\phi}$ folgt: $l(t)=\Re\left(L_0 e^{i\omega t}\right)$
  - Aus $L_0=\Re(L_0)+i\Im(L_0)=l_0 e^{i\phi}=l_0\left(\cos(\phi)+i\sin(\phi)\right)$

    folgt:

$$\boxed{\begin{array}{ll} \Re(L_0)=l_0\cos(\phi) & l_0=\left|L_0\right|=\sqrt{\Re(L_0)^2+\Im(L_0)^2} \\ \Im(L_0)=l_0\sin(\phi) & \tan(\phi)=\dfrac{\Im(L_0)}{\Re(L_0)} \end{array}}$$

1.3 Harmonische Lasten

- Fourier-Reihe:
  - Jede periodische Last mit der Periode T lässt sich als Summe von harmonischen Vorgängen darstellen:

$$l(t)=l_0+\sum_{k=1}^{\infty}\left(l_{sk}\sin\left(2\pi k\frac{t}{T}\right)+l_{ck}\cos\left(2\pi k\frac{t}{T}\right)\right)$$

  - Diese Reihe wird als *Fourier-Reihe* bezeichnet.
  - Wenn die Antworten auf harmonische Lasten bekannt sind, lässt sich die Antwort auf eine periodische Last durch Überlagerung berechnen.

1.3 Harmonische Lasten

- Berechnung der Koeffizienten:
  - Das Integral der Sinus- und der Kosinus-Funktion über eine Periode ist null.
  - Daher ist der Koeffizient l_0 gleich dem zeitlichen Mittelwert:

$$l_0 = \frac{1}{T} \int_0^T l(t)\,dt$$

  - Für die übrigen Koeffizienten gilt:

$$l_{sk} = \frac{2}{T} \int_0^T l(t) \sin\left(2\pi k \frac{t}{T}\right) dt\,, \quad l_{ck} = \frac{2}{T} \int_0^T l(t) \cos\left(2\pi k \frac{t}{T}\right) dt$$

1.3 Harmonische Lasten

- Beispiel: