

Skineffekt an mit rechteckförmigem HF-Strom durchflossenen Drähten

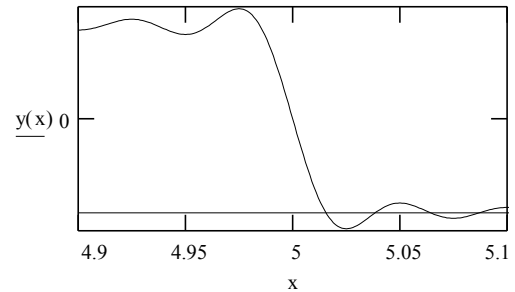
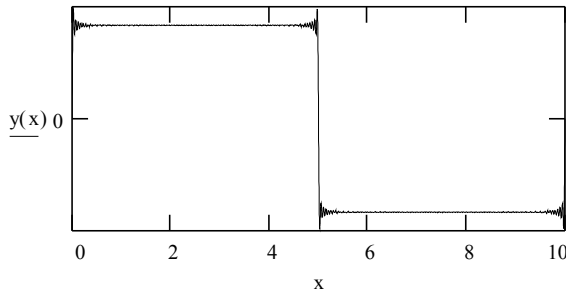
$x := 0, 0.001 \dots 10 \text{ } [\mu\text{s}]$

Darstellung einer "Rechteckfunktion" mit der Frequenz 100kHz und Anstiegsflanken von 50ns, enthält Frequenzanteile bis $f_{100} = 20\text{MHz}$

Fourierreihe für Rechteck nach Bronstein S. 663

$$y(x) = \frac{4 \cdot a}{\pi} \cdot \left(\sin(x) + \frac{\sin(3 \cdot x)}{3} + \frac{\sin(5 \cdot x)}{5} + \dots \right)$$

$$y(x) := \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{100} \frac{\sin \left[(2 \cdot n - 1) \cdot \frac{2}{10} \cdot \pi \cdot x \right]}{2 \cdot n - 1}$$



Darstellung des "Energieinhalts" E2 über eine Periode (0...10μs), hier näherungsweise als Betrag des arithmetischen Mittelwertes

$$E2 := \int_0^{10} \left| \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{100} \frac{\sin \left[(2 \cdot n - 1) \cdot \frac{2}{10} \cdot \pi \cdot x \right]}{2 \cdot n - 1} \right| dx \quad E2 = 9.98$$

Berechnung der höheren Frequenzanteile, die nur noch den Beitrag $\Delta E < 1\%$ enthalten, also weniger als 1% des Gesamtleistungsspektrums von E2 ausmachen

$$\Delta E = \frac{\int_0^{10} \left| \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^m \frac{\sin \left[(2 \cdot n - 1) \cdot \frac{2}{10} \cdot \pi \cdot x \right]}{2 \cdot n - 1} \right| dx}{\int_0^{10} \left| \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{100} \frac{\sin \left[(2 \cdot n - 1) \cdot \frac{2}{10} \cdot \pi \cdot x \right]}{2 \cdot n - 1} \right| dx}$$

Diese Formel wäre nach m aufzulösen, Pentium133 rechnete >1 Stunde, deshalb Rechnung abgebrochen und empirischer Weg.

$$\Delta E = \frac{E2 - E1}{E2} \quad E2 = 9.98 \quad \Delta E := 0.01 \quad E1 := -(\Delta E - 1) \cdot E2 \quad E1 = 9.88$$

$E1 = 9,88$ heißt, daß die Gesamtenergie der Summe von Grundwelle und Harmonischen bis Nummer "m" größer als $E1$ sein muß und die Energie der nicht berücksichtigten Harmonischen damit kleiner als 1% von $E2$ wird.

$$E1 := \int_0^{10} \left| \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{17} \frac{\sin \left[(2 \cdot n - 1) \cdot \frac{2}{10} \cdot \pi \cdot x \right]}{2 \cdot n - 1} \right| dx \quad E1 = 9.881$$

$m = 17$ heißt, daß mit $m = 2n - 1$ die Frequenzen bis zur 33. Harmonischen der Grundwelle einen Beitrag zum Skineffekt leisten, der verbleibende Fehler dabei ist $\Delta E < 1\%$.

Die 33. Harmonische von $f_0 = 100\text{kHz}$ ist $f_{33} = 3,3\text{MHz}$, diese Frequenz ist also für die Drahtauslegung anzusetzen. (Für $f_0 = 86\text{kHz}$: $f_{33} = 2,8\text{MHz}$).

$\Delta E = 10\%$ ergibt für $f_0 = 100\text{kHz}$ die obere Grenzfrequenz $f_3 = 300\text{kHz}$, $f_0 = 86\text{kHz}$: $f_3 = 260\text{kHz}$.