

ÜBUNGEN
zur „Beschleunigerphysik Teil 2“
TU Dortmund Sommersemester 2020

– **BLATT 11** –

Benedikt Büsing (benedikt.buesing @ tu-dortmund.de)
Stephan Robert Kötter (stephan.koetter @ tu-dortmund.de)
Daniel Krieg (daniel.krieg @ tu-dortmund.de)
Vorbesprechung am Mi, 24.06.2020
Abgabe per Email bis Di, 30.06.2020

Maximal drei Teilnehmer/innen können eine gemeinsame Lösung einsenden. Die Lösungen zu Programmieraufgaben bitte als kommentiertes Python-Skript (.py), zu Verständnis- und Rechenaufgaben als PDF-Dokument (z.B. mit LaTeX, Word, gescannt) per Email einsenden. Bitte alle Namen im Betreff der Email, in der PDF-Datei und dem Python-Skript aufführen.
Betreff der Email: „[BP2020 Uebung] Abgabe Blatt 11, Namen“*

Aufgabe 1: Kurzfragen (2 Punkte)

- a) In welcher Weise wirken sich longitudinale oder transversale Strahlinstabilitäten nachteilig auf die Brillanz einer Synchrotronstrahlungsquelle aus?
- b) Ein Regelsystem zur Dämpfung longitudinaler Schwingungen der Teilchenpakete misst die Ankunftszeit der Pakete (nicht die Energieabweichung) und dämpft die Schwingungen durch Beschleunigen/Verzögern mit einem kleinen Hohlraumresonator. Kann eine solche Korrektur bereits beim nächsten Umlauf nach der Messung erfolgen? Was wäre der ideale Zeitpunkt?

Aufgabe 2: Strahlspektrum (3 Punkte)

- a) Der Speicherring DELTA hat einen Umfang von 115,2 m. Die Hf-Frequenz beträgt 500 MHz. Wie viele Eigenmoden gibt es für die longitudinalen und transversalen Schwingungen der Teilchenpakete?
- b) Im Gegensatz zu Aufgabe a) ist die Hf-Frequenz von DELTA nicht genau 500 MHz, sondern eher 499,82 MHz. Der horizontale und vertikale Arbeitspunkt sei in diesem Beispiel 9,21 bzw. 3,36 und die Synchrotronfrequenz sei 15 kHz. Was bedeutet es, wenn Sie mit einem *Spectrum Analyzer* bei folgenden Frequenzen eine Linie im Strahlspektrum sehen?
(i) 141,512 MHz (ii) 1.499,460 MHz (iii) 533,677 MHz (iv) 816,867 MHz

(bitte wenden)

Aufgabe 3: Resistive-wall-Effekt (5 Punkte)

Die endliche Leitfähigkeit der Vakuumkammer bewirkt in vielen Speicherringen eine transversale *multibunch*-Instabilität. Wir beschränken uns hier auf ein einziges Teilchenpaket (*single-bunch*-Betrieb) in einem Elektronenspeicherring, dessen Umlaufzeit $T_0 = 384$ ns beträgt. Auch hier kann eine *multibunch*-Instabilität auftreten, wenn *wake*-Felder über mehrere Umläufe erhalten bleiben. Der Strahlstrom betrage 10 mA, die Strahlenergie sei $E = 1,5$ GeV. Die Länge des normalverteilten Elektronenpakets sei $\sigma_t = 40$ ps (Standardabweichung). Der Innenradius R der zylindrischen Vakuumkammer aus Edelstahl mit Leitfähigkeit $\sigma = 1,4 \cdot 10^6 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ sei 1 cm.

Der Realteil der transversalen *resistive-wall*-Impedanz ist näherungsweise durch

$$\text{Re} Z_{\perp}^{rw}(\omega) = \text{sgn}(\omega) \frac{L}{\pi R^3 \sqrt{2\varepsilon_0 \sigma}} \cdot \frac{1}{\sqrt{|\omega|}}$$

gegeben (d.h. negativ für negative Frequenzen), wobei L der Umfang des Speicherrings und ε_0 die Dielektrizitätskonstante ist. Die Anstiegsrate berechnet sich nach

$$\frac{1}{\tau} = -\frac{Ne^2 c}{2\omega_{\beta} E T_0^2} \sum_{p=-\infty}^{\infty} F(p \cdot \omega_0 + \omega_{\beta}) \cdot \text{Re} Z_{\perp}^{rw}(p \cdot \omega_0 + \omega_{\beta}),$$

wobei ω_0 die Kreisfrequenz des Umlaufs und ω_{β} die Kreisfrequenz der Betatronschwingung ist. Berücksichtigen Sie bei der Summe mindestens 1000 positive und negative Frequenzwerte. Ferner ist N die Zahl der Elektronen im Paket, e die Elementarladung und c die Lichtgeschwindigkeit. Die Funktion

$$F(\omega) = \exp\left(-\frac{1}{2} \omega^2 \sigma_t^2\right)$$

berücksichtigt die longitudinale Ausdehnung des Elektronenpakets und sorgt dafür, dass das Strahlspektrum zu höheren Frequenzen abfällt. Bei der hier gewählten Vorzeichenkonvention entspricht ein positiver/negativer Wert von $1/\tau$ einer Anstiegs-/Dämpfungsrate. Die natürliche Dämpfungszeit durch Synchrotronstrahlung betrage 9 ms.

- Variieren Sie den Arbeitspunkt von 3,05 bis 3,95 in Schritten von 0,05 und berechnen Sie die Anstiegsrate der *resistive-wall*-Instabilität. Stellen Sie das Ergebnis grafisch dar. Für welche Arbeitspunkte ist der Strahl instabil?
- Ab welchem Kammerradius würde die *resistive-wall*-Instabilität bei den hier betrachteten Arbeitspunkten überhaupt nicht mehr auftreten?

Teilen Sie den Übungsassistenten Ihre Beobachtungen sowie deren Interpretation mit und schicken Sie wie immer aussagefähige Bilder, die mit Ihrem Programm erzeugt wurden.