

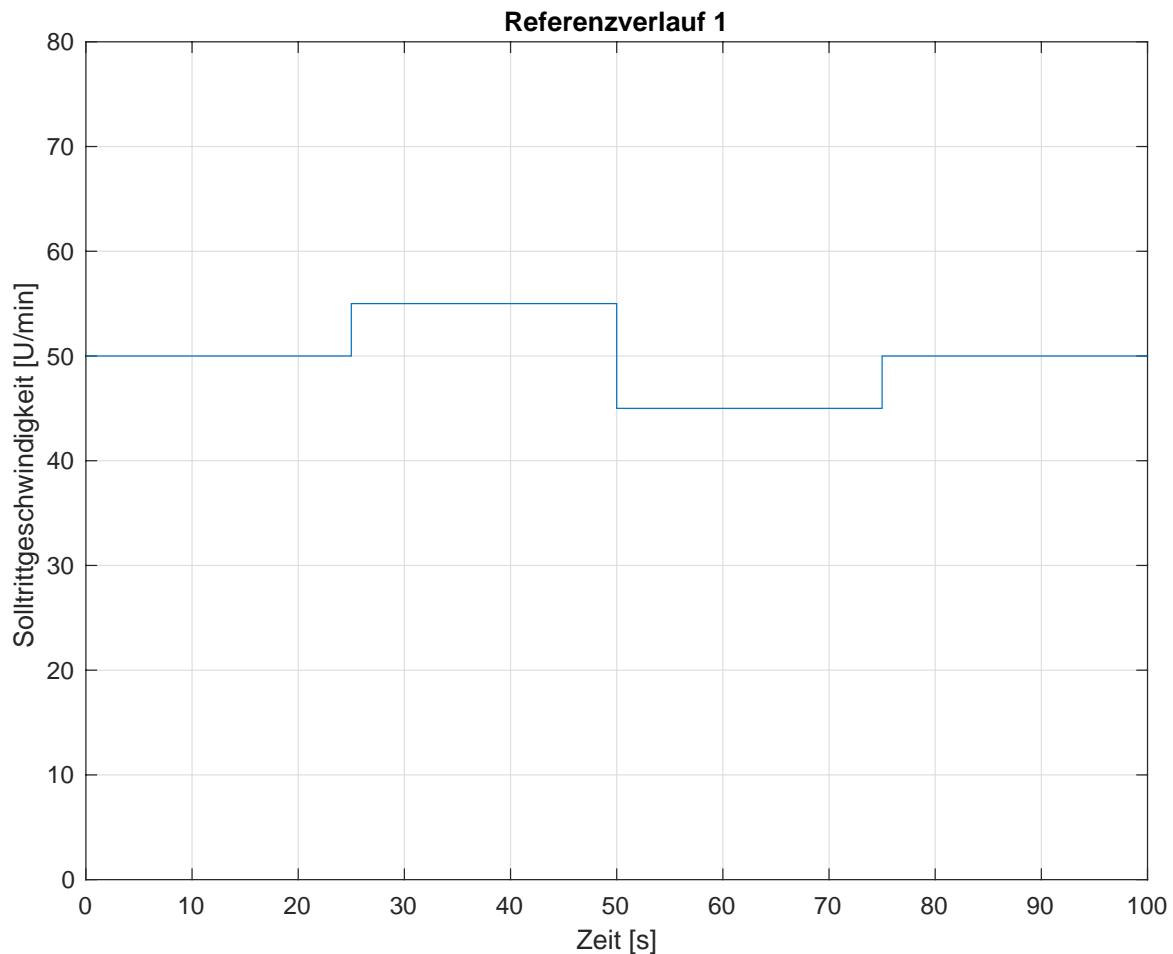
## Übung 8: RST-Reglerentwurf am Beispiel FES-Fahrradfahren

Querschnittgelähmte können mittels funktioneller elektrischer Stimulation der großen Beinmuskeln (Kniestrecker und -beuger sowie Hüftstrecker) auf einem Ergometer oder Liegedreirad fahrradfahren. Hierfür wird die Stimulation der Muskeln in Abhängigkeit vom gemessenen Kurbelwinkel einfach ein- und ausgeschaltet. Jeder Muskel hat eine voreingestellte Stromamplitude. Die Stimulationsfrequenz ist für alle Muskel gleich (20 Hz) und entspricht der Abtastfrequenz. Alle zur gleichen Zeit aktiven Muskeln erhalten die gleiche Impulsbreite (in  $\mu\text{s}$ ), welche als Stellgröße  $u$  dient, um z.B. die Kadenz (Trittggeschwindigkeit) an der Tretkurbel auf einem Ergometer (oder die Geschwindigkeit beim mobilen Fahren) zu beeinflussen. In dieser Übungsaufgabe sei die Trittggeschwindigkeit (gemessen in U/min) die Ausgangsgröße  $y$ .



Für den Entwurf einer auf einen Patienten ausgelegten Trittggeschwindigkeitsregelung sind gemessene Ein-/Ausgangsdaten des unregulierten Systems in `data_fes_cycling.mat` gegeben ( $u$  - Impulsbreite in  $\mu\text{s}$  und  $y$  - Trittggeschwindigkeit in U/min).

1. Stellen Sie zunächst die Messdaten grafisch dar und bestimmen anschließend ein möglich einfaches deterministisches zeitdiskretes Transferfunktionsmodell, das den Zusammenhang zwischen Impulsbreite und Trittggeschwindigkeit ausreichend gut beschreibt. Falls man diesen Schritt überspringen möchte, findet man in `fes_cycling_model.mat` die Polynome eines identifizierten BJ-Modells mit  $z$  als Argument.
2. Entwerfen Sie einen RST-Regler, der ein Führungsverhalten mit einer Anstiegszeit von  $t_r = 1\text{ s}$  und einer Dämpfung von  $\delta = 0,707$  möglichst gut realisiert und stationäre Regelfehler zu Null macht. Aufgrund des sehr einfachen Stimulationsmusters weist die Trittggeschwindigkeit immer periodische Störungen auf, deren Periode über die Kadenz



bestimmt wird. Legen Sie Ihre Regelung so aus, dass diese Schwankungen (Grundkomponente) bei einer Trittschwindigkeit von 50 U/min keinen Einfluss auf die Stellgröße haben. Der Regler soll also nicht versuchen, diese hochfrequenten Störungen auszuregulieren. Auf Kürzungen von Pol- und Nullstellen sollten Sie verzichten. Tunen Sie Ihren Regler anhand der Amplitudengänge des geschlossenen Regelkreises.

3. Simulieren Sie nun Ihre Regelung in Simulink und legen das Anti-Windup-Polynom aus. Die Stellgröße ist begrenzt im Bereich  $100\text{--}300\mu\text{s}$ . Beachten Sie, dass das zuvor bestimmte Modell das Verhalten um den Mittelwert der bei der Identifikation genutzten Ein-/Ausgangsdaten beschreibt. Verwenden Sie Ihr Störgrößenmodell mit einer Varianz von 1, und generieren Sie zusätzlich eine Ausgangsstörung mit der Frequenz  $(50/60)2\pi$  rad/s und Amplitude 2,5 U/min. Testen Sie Ihre Regelung mit den beiden in den Abbildungen gezeigten Referenzverläufen mit und ohne Anti-Windup-Maßnahme. Was beobachten Sie?
4. Erstellen Sie einen Kurzbericht in  $\text{\LaTeX}$  mit dem Matlab-Entwurfsskript, dem Simulink-Diagramm, den Identifikationsergebnissen, den Amplitudengängen des geschlossenen Regelkreises sowie den Simulationsergebnissen. Fassen Sie Ihre Beobachtungen kurz zusammen.

