

3

Kapitel

Laplace-Transformation mit PSPICE

Die Bibliothek *misc.olb*, in der sich die Euromodifikationen zu PSPICE befinden, die ich für das Buch erstellt habe, enthält einen ansehnlichen Vorrat an Reglern und Regelstrecken. Dennoch werden Ihnen früher oder später irgendwelche Bausteine fehlen. Dann kann Ihnen das Element *Laplace* aus der Bibliothek *abm.olb* weiterhelfen. Sie müssen dazu allerdings ausreichend Kenntnisse der Laplace-Transformation besitzen. Mit dem Element *Laplace* können Sie ein Übertragungsglied für die Simulation mit PSPICE modellieren, sofern Ihnen dessen Laplace-Übertragungsfunktion bekannt ist.

3.1 Modellbildung mit Laplace-Elementen

Im Folgenden soll der Regelkreis mit PI-Regler von Bild 1.4.1 mit Hilfe von Laplace-Elementen modelliert werden.

In Bild 1.4.1 verwendete (Laplace-)Übertragungsfunktionen :

$$F(s) = K_p \cdot \frac{1 + T_n \cdot s}{T_n \cdot s} \quad \text{PI-Element}$$

$$F(s) = K_s \cdot \frac{1}{1 + T_s \cdot s} \quad \text{PT1-Element}$$

Das Element *Laplace* aus der Bibliothek *abm.olb* besitzt zwei Attribute: NUM (Numerator) für den Nenner und DENOM (Denominator) für den Zähler des Laplace-Ausdrucks. Die Bilder 3.1.1 und 3.1.2 zeigen die Laplace-Elemente des Regelkreise von Bild 1.4.1:

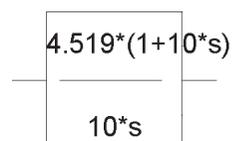


Bild 3.1.1: Das Element *Laplace* mit den Attributen des PI-Reglers aus Bild 1.4.1

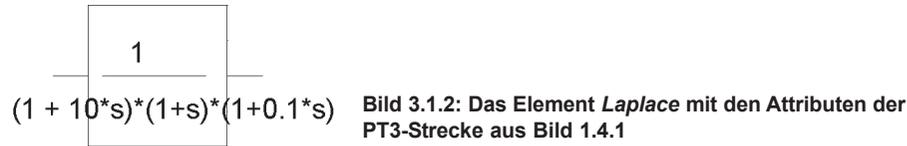


Bild 3.1.3 zeigt den Regelkreis von Bild 1.4.1, dieses Mal allerdings unter Verwendung von Laplace-Elementen. Bild 3.1.4 zeigt die zugehörige Sprungantwort.

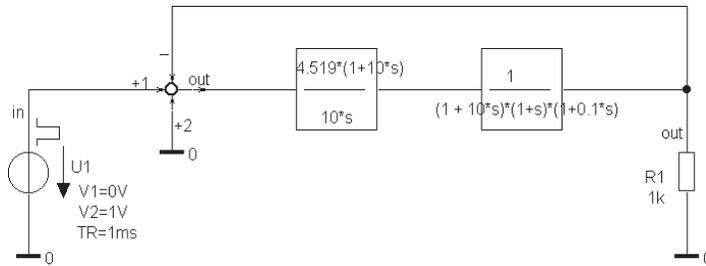


Bild 3.1.3: Der Regelkreis von Bild 1.4.1, modelliert mit Laplace-Elementen

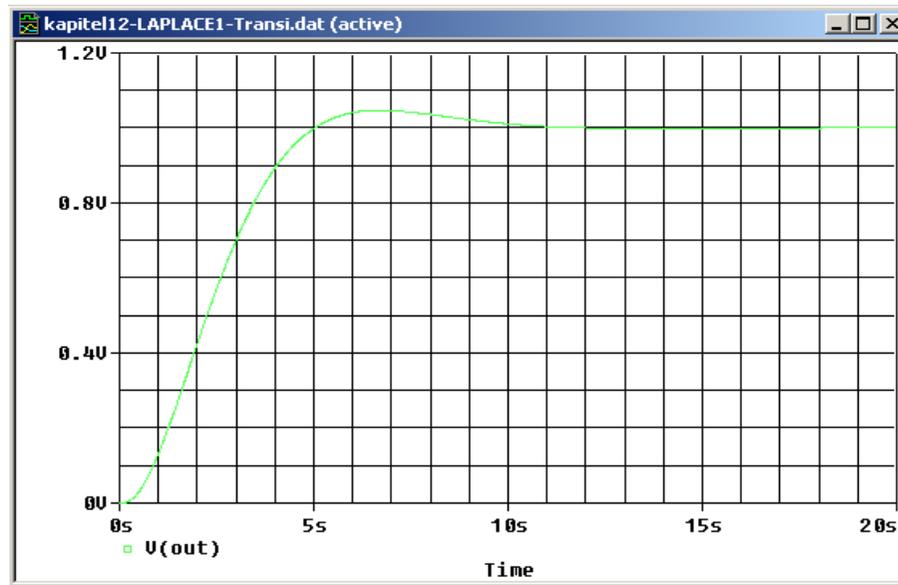


Bild 3.1.4: Sprungantwort des Regelkreises von Bild 3.1.3

PT1-Strecken <i>Laplace</i> :	Attribute lt. Schaltplan
PI-Regler <i>Laplace</i> :	Attribute lt. Schaltplan
Spannungsquelle <i>VPULSE</i> :	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
Subtrahierer <i>plusminus</i>	
Speichern als:	LAPLACE1.OPJ
Setup für die Simulation zur Aufnahme der Sprungantwort:	
	TRANSIENT
	RUN TO TIME 20s
	MAXIMUM STEP SIZE 10m

Die Bilder 1.4.3 und 3.1.4 sind nicht zu unterscheiden. Auch die Simulation des Frequenzgangs des Regelkreises mit unterbrochener Rückführung (Bild 3.1.5) führt auf gleiche Ergebnisse: Die Bilder 3.1.6 und 1.4.2 zeigen keine Unterschiede.

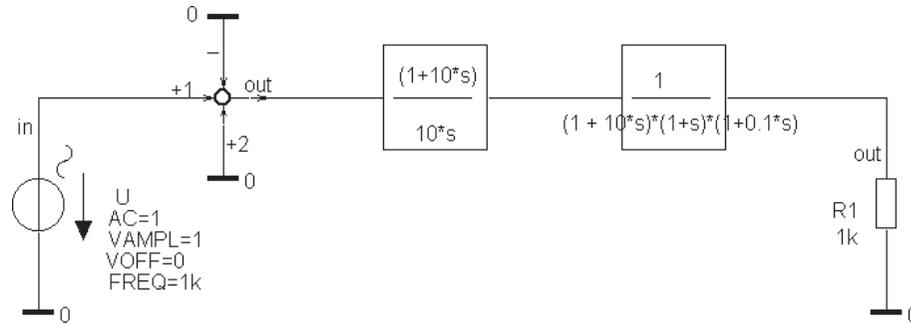


Bild 3.1.5: Mit Laplace-Elementen: Regelkreis mit unterbrochener Rückführung zur Aufnahme des Frequenzgangs zur Ermittlung der Reglerparameter der PI-Regelung

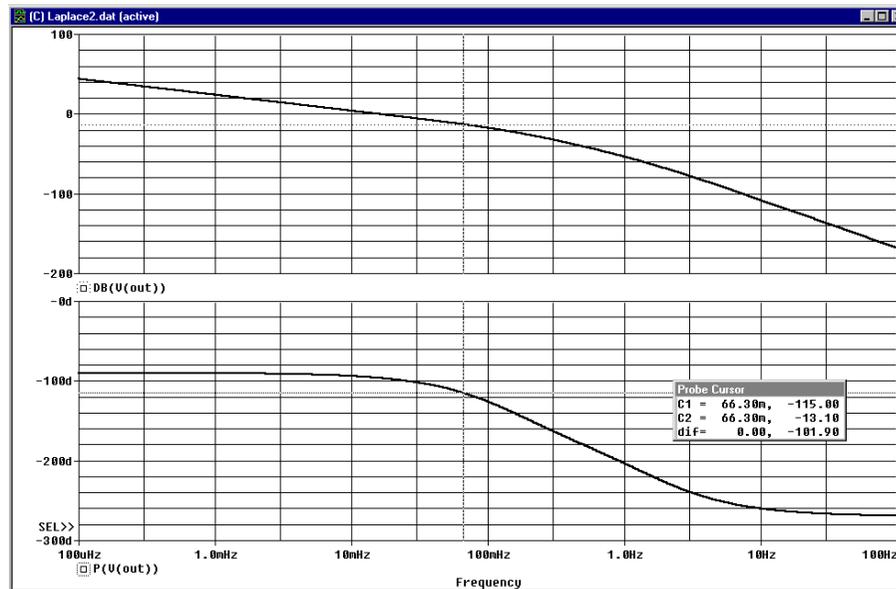


Bild 3.1.6: Bode-Diagramm mit Amplituden- und Phasengang des Regelkreises mit unterbrochener Rückführung von Bild 3.1.5

PT3-Strecken *Laplace*: Attribute It. Schaltplan
 PI-Regler *Laplace*: Attribute It. Schaltplan
 Spannungsquelle *VSIN*: Attribute It. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs

Subtrahierer *plusminus*

Speichern als: LAPLACE2.OPJ

Setup für die Simulation zur Aufnahme des Frequenzgangs:

AC-SWEEP
 DECADE
 PTS/DECADE: 100
 START FREQ: 0.1m
 END FREQ: 100

3.2 Die Genauigkeit von Simulationen mit Laplace-Elementen

Bei der für Aufgaben der Regelungstechnik beinahe universellen Nutzbarkeit des abm-Bausteins *Laplace* werden Sie sich vermutlich fragen, wozu es überhaupt noch spezielle Bausteine für Regler und Regelstrecken gibt. Der Grund ist folgender: Der Baustein *Laplace* fordert von PSPICE ein Höchstmaß an Rechenleistung, mit der es ihm gelingt, aus den Daten des komplexen Frequenzgangs den zugehörigen Zeitverlauf zu rekonstruieren, d.h. numerisch eine inverse Fourier-Transformation durchzuführen. Diese Arbeit gelingt PSPICE inzwischen eindrucksvoll schnell. Das war nicht immer so. Der Geschwindigkeitszuwachs wird durch eine Reihe intelligenter Einschränkungen¹⁾ erreicht, die allerdings eine gewisse Einbuße an Genauigkeit bewirken. Das wäre eigentlich nicht weiter schlimm, denn durch Reduzierung von `MAXIMUM STEP SIZE` und bei manchen Verläufen auch von `RELTOL`²⁾ kann die Genauigkeit der Ergebnisse bei Bedarf (bei Vergrößerung der Rechenzeit) nahezu beliebig erhöht werden. Hier steckt nun aber das Problem, mit dem der Nutzer des Bausteins *Laplace* zurechtkommen muss: Er kann dem Simulationsergebnis meistens nicht ansehen, ob eine Erhöhung der Genauigkeit, d.h. eine Reduktion von `MAXIMUM STEP SIZE` oder `RELTOL` erforderlich ist. Bild 3.2.1 zeigt eine Testschaltung, anhand derer das Problem verdeutlicht werden kann. Die Schaltung wird mit drei verschiedenen Werten für `MAXIMUM STEP SIZE` simuliert (1m, 10m, 50m). Bild 3.2.2 zeigt das Ergebnis.

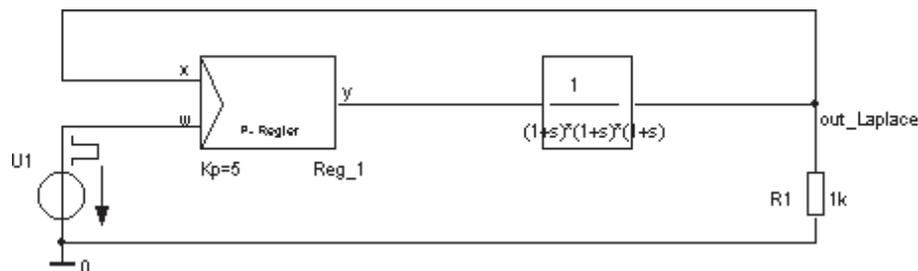


Bild 3.2.1: Testschaltung: PT3-Strecke mit 3 gleichen Zeitkonstanten $T_s = 1$ s am P-Regler

1) für diejenigen, die es genau wissen möchten: Bei Verwendung von Laplace-Elementen führt PSPICE im Verlauf der Simulation eine inverse diskrete Fourier-Transformation durch. Dabei treten prinzipiell zwei Sorten von Fehlern auf:

- Der Transformation wird nur der durch die Bandbreite scharf beschnittene Verlauf des komplexen Frequenzgangs zugrundegelegt.
- Die Transformation wird auf der Grundlage nur endlich vieler, gleichverteilter Proben vorgenommen.

Abhängig vom Verlauf des komplexen Frequenzgangs ergibt eine Reduzierung von `MAXIMUM STEP SIZE` und `RELTOL` eine Vergrößerung der verwendeten Bandbreite und eine Reduzierung der Abtast-Schrittweite. Dies vergrößert die Genauigkeit, ist aber selbstverständlich mit einer entsprechenden Vergrößerung der Rechenzeit verbunden.

2) Die maximal zulässige Anzahl der Stützstellen für eine Transienten-Analyse beträgt $10^{15} \cdot \text{RELTOL}$. `RELTOL` kann im Fenster `SIMULATION SETTINGS/OPTIONS` verändert werden.

Für sich allein betrachtet sieht jede der drei Sprungantworten vertrauenserweckend aus, aber bestenfalls eine davon kann richtig sein. Nur weil alle drei Simulationsergebnisse vorliegen und sich die Ergebnisse für `MAXIMUM STEP SIZE = 10 ms` und `MAXIMUM STEP SIZE = 1 ms` kaum unterscheiden, kann man schließen, dass die Sprungantwort mit `MAXIMUM STEP SIZE = 1 ms` ausreichend genau ist. Komfortabel ist diese Art der Wahrheitsfindung nicht.

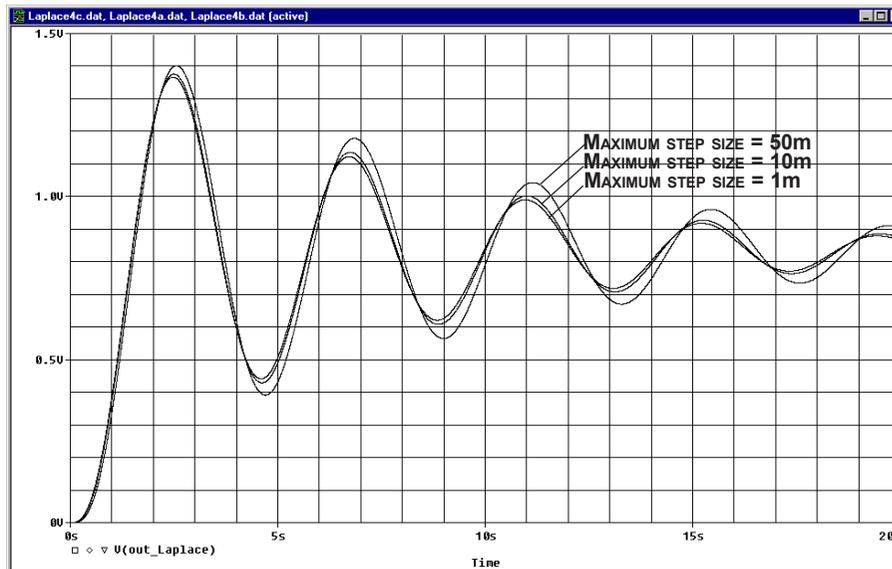


Bild 3.2.2: Regelkreis von Bild 3.2.1: Sprungantworten. `MAXIMUM STEP SIZE = 50ms, 10ms, 1ms`

Diejenigen Regler und Regelstrecken, die speziell für dieses Buch entwickelt wurden, machen die oben beschriebenen Probleme nicht. Bei ihnen werden die den Bausteinen zugrunde liegenden Differentialgleichungen numerisch gelöst. Natürlich kann man auch hier, wie in allen Transienten-Analysen, `MAXIMUM STEP SIZE` zu groß wählen. Das macht sich dann aber bei der Darstellung im Probe-Fenster durch die Ihnen sicherlich bekannten „Ecken und Kanten“ im Kurvenverlauf unübersehbar bemerkbar, so dass Sie anschließend noch problemlos „nachbessern“ können.

PT3-Strecke *Laplace*: Attribute lt. Schaltplan
 P-Regler *P-Reg*: Attribute lt. Schaltplan
 Spannungsquelle *VPULSE*: Attribute lt. Schaltplan, bzw. Vorgabe (Defaultwerte) des Attributenüs

Speichern als: LAPLACE3a.OPJ
 LAPLACE3b.OPJ
 LAPLACE3c.OPJ

Setup für die Simulation zur Aufnahme der Sprungantwort:

TRANSIENT
 RUN TO TIME 20s
 LAPLACE3a.OPJ MAXIMUM STEP SIZE 50m
 LAPLACE3b.OPJ MAXIMUM STEP SIZE 10m
 LAPLACE3c.OPJ MAXIMUM STEP SIZE 1m

Die Darstellung von Bild 3.2.2 ist durch die Überlagerung der Simulationsergebnisse von LAPLACE3a,b,c mit Hilfe der Probe-Option `FILE/APPEND WAVEFORM` entstanden.

