Lehrstuhl für Elektrische Energiesysteme
Vorstand: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Matthias Luther

Art der Arbeit und Nr

Hier steht das Thema der schriftlichen Ausarbeitung

Bearbeiter: Vorname Nachname
Matrikelnummer

Betreuer: Vorname Nachname

Abgabedatum: TT.MM.JJJJ

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen angefertigt habe, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat und von dieser als Teil einer Prüfungsleistung angenommen wurde. Alle Ausführungen, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind als solche gekennzeichnet.

Ort, Datum

Unterschrift

Aufgabenstellung der Arbeit

Thema: Thema der Arbeit

Hier wird die Aufgabenstellung beschrieben. Die Notwendigkeit dieser hängt vom Betreuer ab.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1 Einleitung

Dieses Kapitel dient zur Hinführung an das Thema. Hier ist herauszuarbeiten, warum das Thema von Interesse und Bedeutung ist. Des Weiteren ist kurz der Aufbau der Arbeit anzusprechen. Der Umfang des Kapitels sollte eine oder wenige Seiten betragen.

2 Hauptteil

2.1 Beschreibung der Integrationsverfahren

Ausgangslage: Numerische Lösung von Anfangswertproblemen. Systeme beschrieben durch allgemeine Zustandsdarstellung: (Zur Einfachheit Eingrößensysteme.)

$$\dot{\boldsymbol{x}}(t) = \boldsymbol{A}\,\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{b}\,u(t), \qquad \boldsymbol{x}(0) = \boldsymbol{x}_0 \tag{2.1}$$

$$y(t) = \boldsymbol{c}^T\,\boldsymbol{x}(t) \tag{2.2}$$

Es ergibt sich als Lösung von $\boldsymbol{x}(t)$:

$$x(t) = x_0 + \int\limits_0^t \dot{x}(x,t)\mathrm{d}t \tag{2.3}$$

Dafür numerische Lösung erforderlich. Dabei wird mit der Schrittweite T gerechnet. Auf jeden Fall irgendwo mit hin schreiben: Es gibt Taylorverfahren $\rightarrow$ Einbeziehung der höheren Zeitableitungen, eher untauglich für die Praxis
und Runge-Kutta Verfahren etc. welche hier beschrieben werden.

2.1.1 Einschrittverfahren

Explizites Eulerverfahren

Einfachstes Verfahren, ergibt sich aus dem Taylorschen Satz erster Ordnung. Steigung wird in jedem Zeitschritt berechnet und als konstant angenommen. (Zur Verdeutlichung im Zuge dieser Arbeit nur eine Zustandsgröße!)

$$\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = \lambda \cdot x + b \cdot u \tag{2.4}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta x}{T} = \lambda \cdot x + b \cdot u \tag{2.5}$$

$$\Rightarrow x_{k+1} = x_k + \Delta x_k = x_k + (\lambda \cdot x_k + b \cdot u_k) \cdot T \tag{2.6}$$

$$\Rightarrow \text{Stabilitätsanalyse mit digitaler Regelung Methoden machen!!} \tag{2.7}$$

Impliztes Eulerverfahren

Andere Möglichkeit: Annahme der Steigung des $k+1$-ten Schrittes für Δx.

$$x_{k+1} = x_k + \Delta x_{k+1} \tag{2.8}$$

$$x_{k+1} = x_k + \Delta x_{k+1} \text{ mit} \tag{2.9}$$

$$\Delta x_{k+1} = (\lambda \cdot x_{k+1} + b \cdot u_{k+1}) \cdot T \text{ (vorherige Gl. einsetzen)} \tag{2.10}$$

$$\Rightarrow \Delta x_{k+1} = (1 - \lambda \cdot T)^{-1} \cdot (b \cdot u_{k+1} + \lambda x_k) \cdot T \tag{2.11}$$

Es ergibt sich eine implizite Gleichung für die Steigung, und u_{k+1} erforderlich. Besonders: Führt immer zu Stabilität (unabhängig von der Schrittweite), wenn System stabil! (Eigenwerte anschauen!) ABER: oft auch für instabile Systeme stabil!

Trapezregel/Heun-Verfahren

Referenz auf SIEMENS SKRIPT Kombination der beiden Euler-Verfahren $\Rightarrow$ höhere Genauigkeit!
Mittelwert der Steigungen im k-ten und $k+1$-ten Schritt:

$$x_{k+1} = x_k + \Delta x_k = \tag{2.12}$$

$$= x_k + T \cdot \frac{1}{2} \cdot \Big(f\big(x_k, t\big) + f\big(x_{k+1}, t+T\big) + \Big). \tag{2.13}$$

Dadurch ergibt sich allgemein ebenfalls ein implizites Verfahren. Dies kann nun also möglicherweise nichtlineares Gleichungssystem gelöst werden, oder durch Abschätzung des unbekannten Wertes $f\big(x_{k+1}, t+T\big)$ durch das explizite Euler-Verfahren erhält man das explizite Heun-Verfahren nach [1]:

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= x_k + \Delta x_k = \\ &= x_k + T \cdot \frac{1}{2} \cdot \Big(f\big(x_k, t\big) + f\big(x_k + T \cdot f(x_k, t), t + T\big) + \Big). \end{aligned}$$

Weitere Möglichkeiten, siehe Extrapolationsverfahren.

Runge-Kutta-Verfahren

Um die bisher betrachteten Methoden zu verbessern, gibt es mehrere Ansätze. Ein naheliegender Gedanke ist, statt nur der Rechten Seite der gew. DGL (REF!), Zeitableitungen höherer Ordnung in die Abschätzung einzubauen. Dies führt zu den Taylor-Methoden, welche auf der Taylorreihenentwicklung basieren. Da die Differentation der Rechten Seite jedoch nach [1] mit verhältnismäßig großem rechnerischen Aufwand verbunden ist, sind diese Verfahren in der Praxis eher ungebräuchlich und sollen im Rahmen dieser Arbeit nicht näher betrachtet werden.

Im Gegensatz dazu ist der erste Ansatz in der Praxis, die Idee der Trapezregel weiter zu führen und die Genauigkeit der Verfahren durch weitere Stützstellen zu erhöhen.

2.1.2 explizite Mehrschrittverfahren

2.1.3 implizite Mehrschrittverfahren

2.1.4 Prädiktor-Korrektor-Verfahren

2.1.5 BDF-Verfahren

2.1.6 Schrittweitensteuerung

2.1.7 Extrapolationsverfahren

2.2 Stabilitätsanalyse der wichtigsten Methoden

2.3 Anwendung der Integrationsmethoden in Simulationssoftware

2.3.1 PSS Nettomac

2.3.2 PowerFactory

RMS Simulation Algorithms
•Highly accurate, fixed or variable step-size integration technique for solving AC and DC network load flow and dynamic model equations. This is combined with a non-linear electromechanical model representation to enable a high degree of solution accuracy, algorithmic stability and time range validity.
•A-stable simulation algorithm for the efficient handling of stiff systems. This is applicable to all or any individually selected model featuring error-controlled automatic step-size adaptation, ranging from milliseconds up to minutes or even hours, including precise handling of interrupts and discontinuities. EMT Simulation Algorithms
•The calculation of initial conditions is carried out prior to the EMT simulation, and is based on a solved load flow (symmetrical or asymmetrical). Consequently, there is no need for saving steady state conditions being reached after transients are damped out aiming in simulation re-starting under steady state conditions.

•Special numerical integration methods have been implemented in DIgSILENT PowerFactory in order to avoid numerical oscillations caused by switching devices and other non-linear characteristics.
•Highly accurate, fixed or variable step-size integration technique for solving AC and DC network transients and dynamic model equations. This is combined with a non-linear electromechanical model representation to enable a high degree of solution accuracy, algorithmic stability and time range validity.

2.3.3 PSSE

2.3.4 Eurostag

The advanced dynamic functions of EUROSTAG® allow for the full range of transient, mid and long-term stability to be covered thanks to a robust algorithm using an auto-adaptative integration stepsize.

Hier ist das eigentliche Thema zu bearbeiten.

3 Zusammenfassung und Ausblick

In der Zusammenfassung werden die Ergebnisse der Arbeit kurz zusammengefasst. Der Umfang beträgt ca. eine Seite.

A Anhang Teil 1

B Anhang Teil 2

C Anhang Teil 3

Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

Sollten in einer Ausarbeitung viele Abkürzungen und Formelzeichen auftreten, so empfiehlt es sich, diese gesondert in einem Kapitel aufzufuhren. Dieses kann auch nach dem Inhaltsverzeichnis (Abbildungs- und Tabellenverzeichnis) folgen.

A		Abkürzung für ...
$\cos\varphi$		Leistungsfaktor
U_s	V	Betrag der Statorspannung
φ	rad	Winkel zwischen Spannung und Strom

Literaturverzeichnis

[1] Grüne, Lars: Numerische Methoden für gewöhnliche Differentialgleichungen (Numerische Mathematik II) / Mathematisches Institut, Fakultät für Mathematik und Physik, Universität Bayreuth. Sommersemester 2008. – 3. Auflage