

Theorie der Bond-Graphen II

Modellierung kontinuierlicher dynamischer Systeme:

anschaulich, orientiert an E-Technik,

mit kontinuierlichem Leistungsfluss,

basierend auf Graphen

Einheitliche Sicht auf Energieerhaltungssätze mit

Effort * Flow als abstraktem Leistungsfluss

Begründer

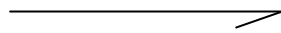
Henry M. Paynter, MIT, 1959

D. C. Karnopp: System Dynamics, 1990

Einsatzgebiete von Bond-Graphen

Systems	Effort (e)	Flow (f)
Mechanical	Force (F)	Velocity (v)
	Torque (?)	Angular velocity (?)
Electrical	Voltage (V)	Current (i)
Hydraulic	Pressure (P)	Volume flow rate (dQ/dt)
Thermal	Temperature (T)	Entropy change rate (ds/dt)
	Pressure (P)	Volume change rate (dV/dt)
Chemical	Chemical potential (?)	Mole flow rate (dN/dt)
	Enthalpy (h)	Mass flow rate (dm/dt)
Magnetic	Magneto-motive force (e_m)	Magnetic flux (?)

Elemente



Verbindungen, Energiefluss

0 Knoten mit gleichem *Effort* (e)

1 Knoten mit gleichem *Flow* (f)

R Widerstand

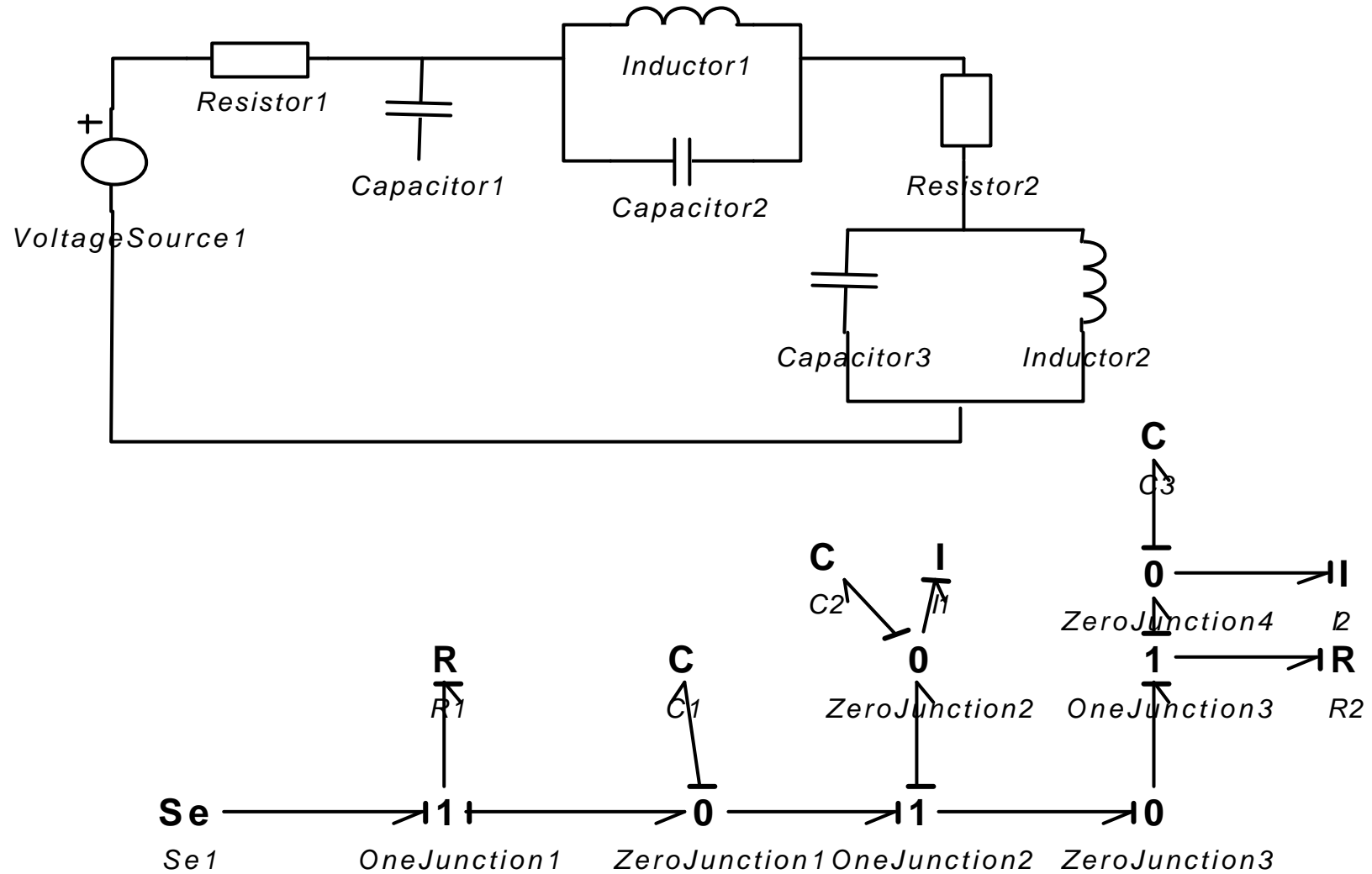
C Kapazität

I Induktion

TF Transformator $e_1 = m * e_2$

GY Gyrator $m * f_1 = f_2$

Beispiel E-Technik



20-sim 3.1 demo (c) CLP 2000

Verbindung zur Netzwerktechnik

Theorie der Bondgraphen und Elektrische Netzwerke

Siehe

Alan S. Perelson (1976): Description of Electrical Networks using Bond Graphs. Circuit Theory and Applications, Vol. 4, 107-123)

(Auszug und Übersetzung siehe
BondgraphenElektrischeNetzwerke)

Vorgehensweise in der Mechanik

Bestimme 1-Knoten = Orte messbarer Geschwindigkeit

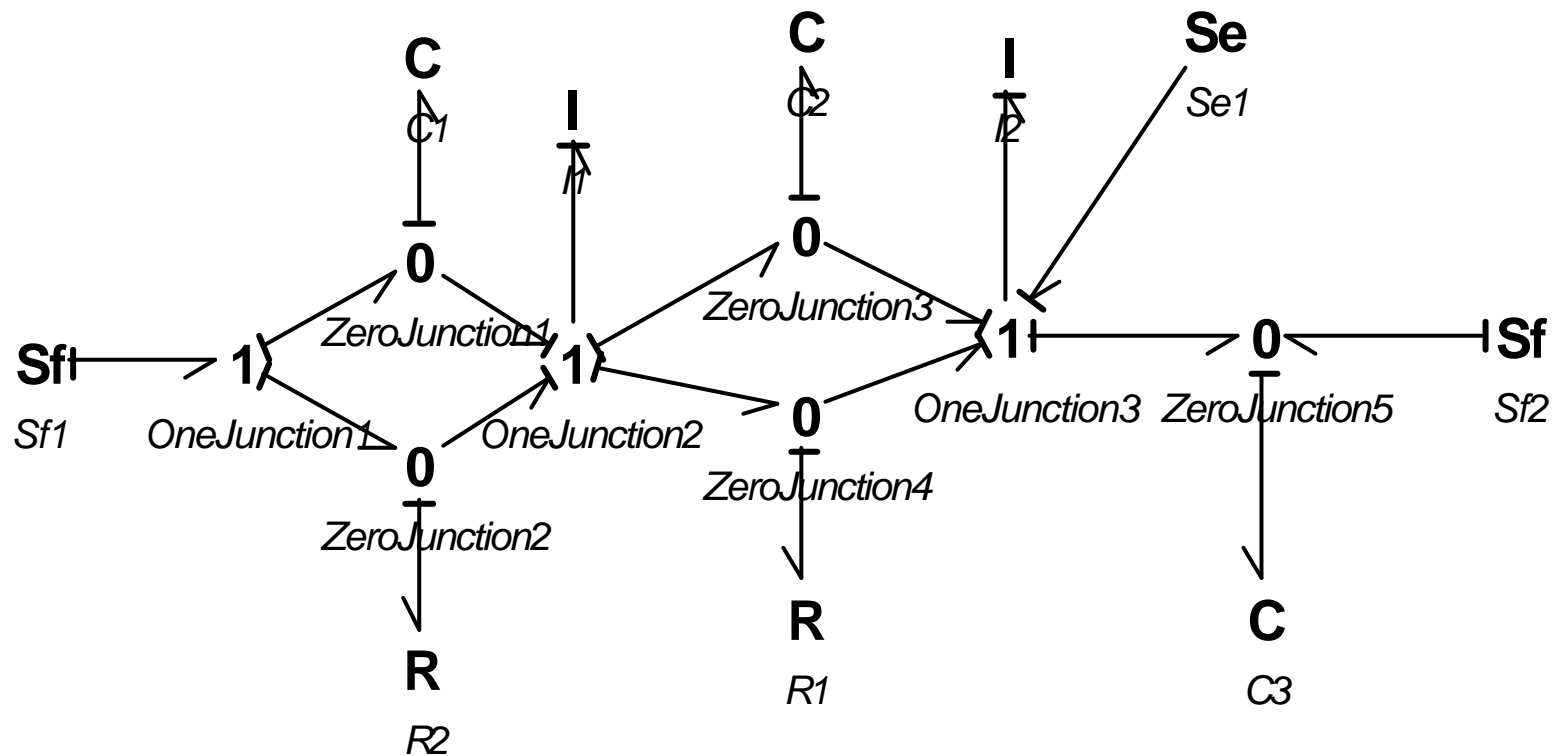
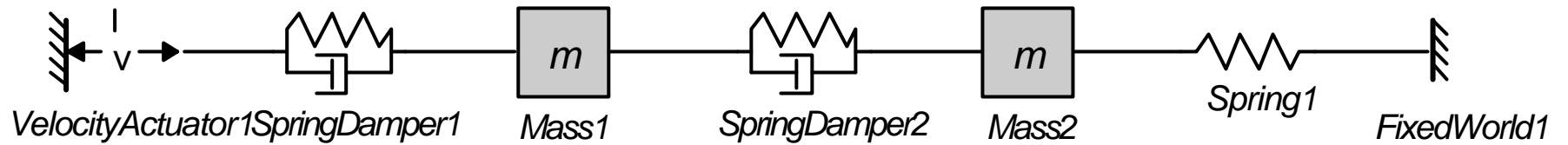
Setze Knoten für Komponenten:

Dämpfer = Widerstand R . Effort gleich. 0-Knoten

Feder = Kapazität C . Effort gleich. 0-Knoten

Masse = Induktion I . Flow gleich. 1-Knoten !!

Beispiel Mechanik

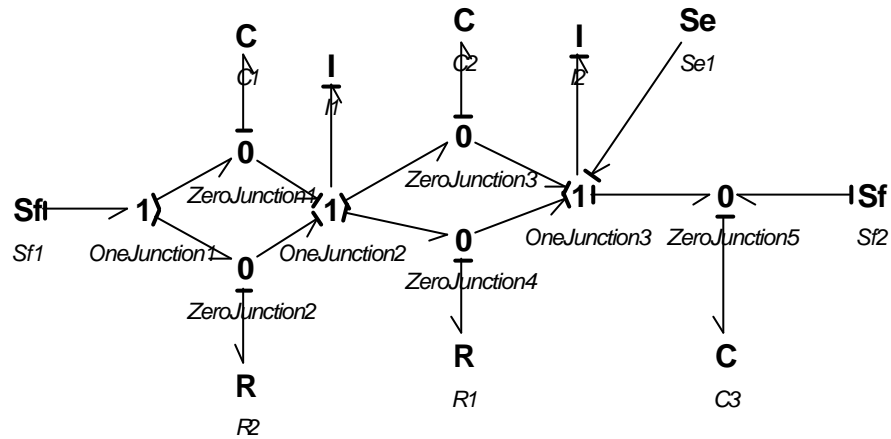


20-sim3.1 demo (c) CLP 2000

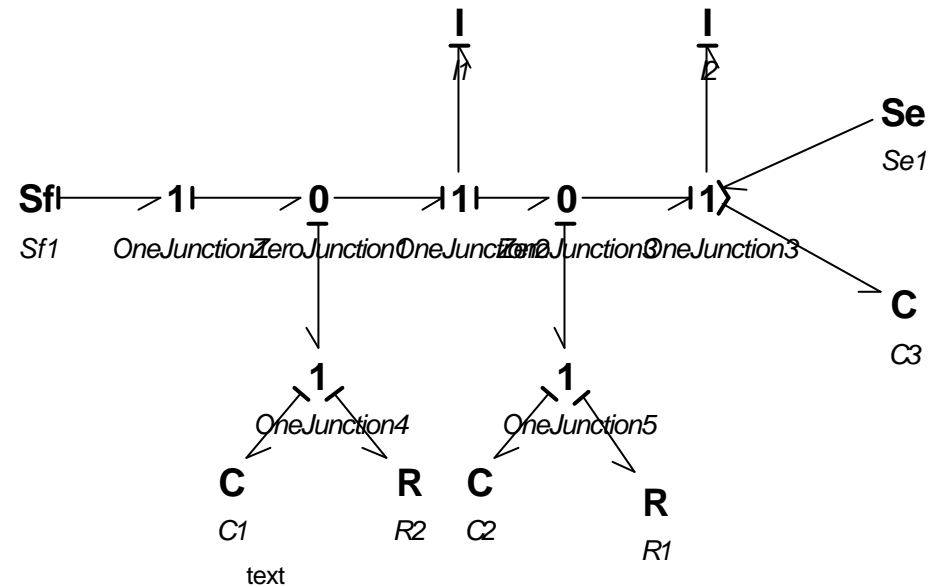
W. Bruns, 2006

Example 4.11 from Karnopp

Minimierung des Graphen



20-sim 3.1 demo (c) CLP 2000



Kausalität

Kausalität etabliert das Ursache-Wirkungsprinzip zwischen den Leistungsfaktoren effort und flow auf der Ebene der Berechnung. Es handelt sich hierbei nicht um eine physikalische Ursache-Wirkungs-Beziehung sondern um eine *Computational Causality*.

In Bond Graphen werden die Inputs und Outputs durch einen Kausalbalken gekennzeichnet. Der Kausalbalken zeigt die Richtung der Effort-Signal-Ausbreitung an. Implizit zeigt das Pfeilende ohne Kausalbalken die Ausbreitung des Flow-Signals an.

Siehe auch BondGraphs.com

Kausalitätseigenschaften der Elemente

Induktion/Trägheit: $f \stackrel{?}{=} m \int e dt$

 *Geschichte e bestimmt f* : J ----- I I

Kapazität : $e \stackrel{?}{=} k \int f dt$

 *Geschichte f bestimmt e* : J I----- C

Widerstand: $e = R * f$

e gleichwertig f : J I----- R

oder J -----IR

Siehe auch BondGraphs.com

Weitere Kausalitätseigenschaften

An 1 Junction (alle flows gleich) bringt nur ein Bond die flow-Information,

der starke Bond

An 0 Junction (alle efforts gleich) bringt nur ein Bond die effort-Information

der starke Bond

Korrekte Kausalität ist **integral**

Differentielle Kausalität macht Systeme von der Zukunft abhängig

Siehe auch BondGraphs.com

Kausalitätsarten

Die korrekte Kausalität für Speicherelemente I oder C wird genannt

integrale Kausalität

Die Ursache wird integriert um die Wirkung zu erzeugen.

Manchmal müssen die Kausalitätsbalken umgedreht werden, was der Formulierung der Erhaltungsgleichung in Differentialform entspricht. Dies ist dann

differentielle Kausalität

sie macht Systeme von der Zukunft abhängig und deutet auf Modellierfehler hin.

Siehe auch BondGraphs.com
W. Bruns, 2006

Kausalitätszuordnung

Causality Assignment Procedure:

1. Assign fixed causalities to sources.
2. Propagate the causality through junctions, if possible, i.e. if any bond has got a causality such that it has become the strong bond for a junction, the causality for all other bonds (weak bonds) is determined by laws for causality of junctions and if all other bonds of junction are causalled, the last bond should be the strong bond. Similarly, if any port of a two port is causalled (of TF and GY), the causality of the other can be assigned.
3. Assign integral causality to one of the storage elements and propagate the causality through junctions. Continue the procedure with other storage elements. This should normally result in complete causalling of the graph.
4. If the graph is not completely causalled yet, start assigning a resistive causality to a R-element and propagate it. Continue till the entire graph is causalled. In cases, where the model is determined through causalities of R-elements, there may be several possible causal models. It is always advisable to maximize resistive causalities and minimize the conductive causalities in R-elements.
5. If the system develops differential causalities in some storage elements, try minimizing its number of occurrence through assigning initial integral causalities to other storage elements than those selected before.
6. Try to avoid differential causalities by suitable changes to the model, such as introducing some compliance or resistance or both.
7. Discard all models, which result in a causal structure, that violates junction causality rules.