

Liidese põhise modelleerimise seminar

(Port based modeling)

Euron/Geoplex suvekool Itaalias, 2005:
Keeruliste süsteemide modelleerimine

Deivid Pugal

Sisu ülevaade

- Mudelitest, modeleerimisest üldiselt, liidese põhise modelleerimise põhiideed
- matemaatiline taust
- näited

Mudelitest üldiselt

- Esiteks, kõik mudelid on valed.
 - Tõeline koopia süsteemist ei ole mudel, vaid on ühesus (identity)
- Mudel otsib analoogiad, mis on antud probleemi kontekstis olulised.
 - Nõrkus
 - Tugevus
- Loeb kompetents kirjeldamaks probleemi!

Mida võib mõista mudeli all?

- Abstraktsioon, mis võimaldab
 - pilguheitu reaalsele vastele
 - suhtlemist reaalse vastega (näiteks uP vahendusel)
 - jälgimist, vigade korrigeerimist
 - modifikatsioone reaalsele vastele
 - mõõta reaalse vastega seotud suurusi
 - kompetentne antud probleemi lahendamiseks ja otsuste tegemiseks reaalse seadme puhul

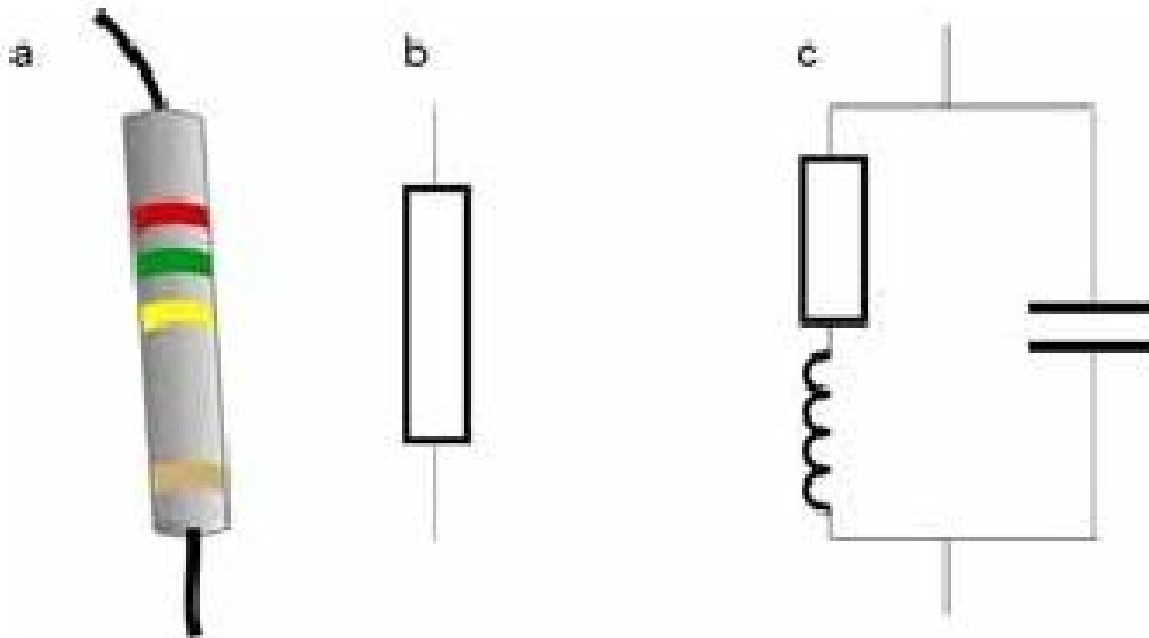
Mida me modelleerime?

- Kompleksseid süsteeme
 - Suur hulk alamsüsteeme
- Dünaamiline käitumine järgib nii energia jäävuse seadust kui ka entroopia kasvu printsiipi
- Kirjeldab ajas mõningaid füüsikalisi suurusi
 - mehhaanilisi
 - elektrilisi
 - magnetilisi
 - keemilisi

Mehhatroonikasüsteemide modelleerimine

- Mehhaanika võib hõlmata 'mida iganes'
- Mehhaanika lahendused standardised
- **Mehhaanika ja kontrolleri vaheline 'läbisaamine'**
 - Võimaldab realiseerida väga kompleksseid lahendusi
 - Loogika tarkvaras - paindlikkus
- Tähtis idee mehhatroonikas.

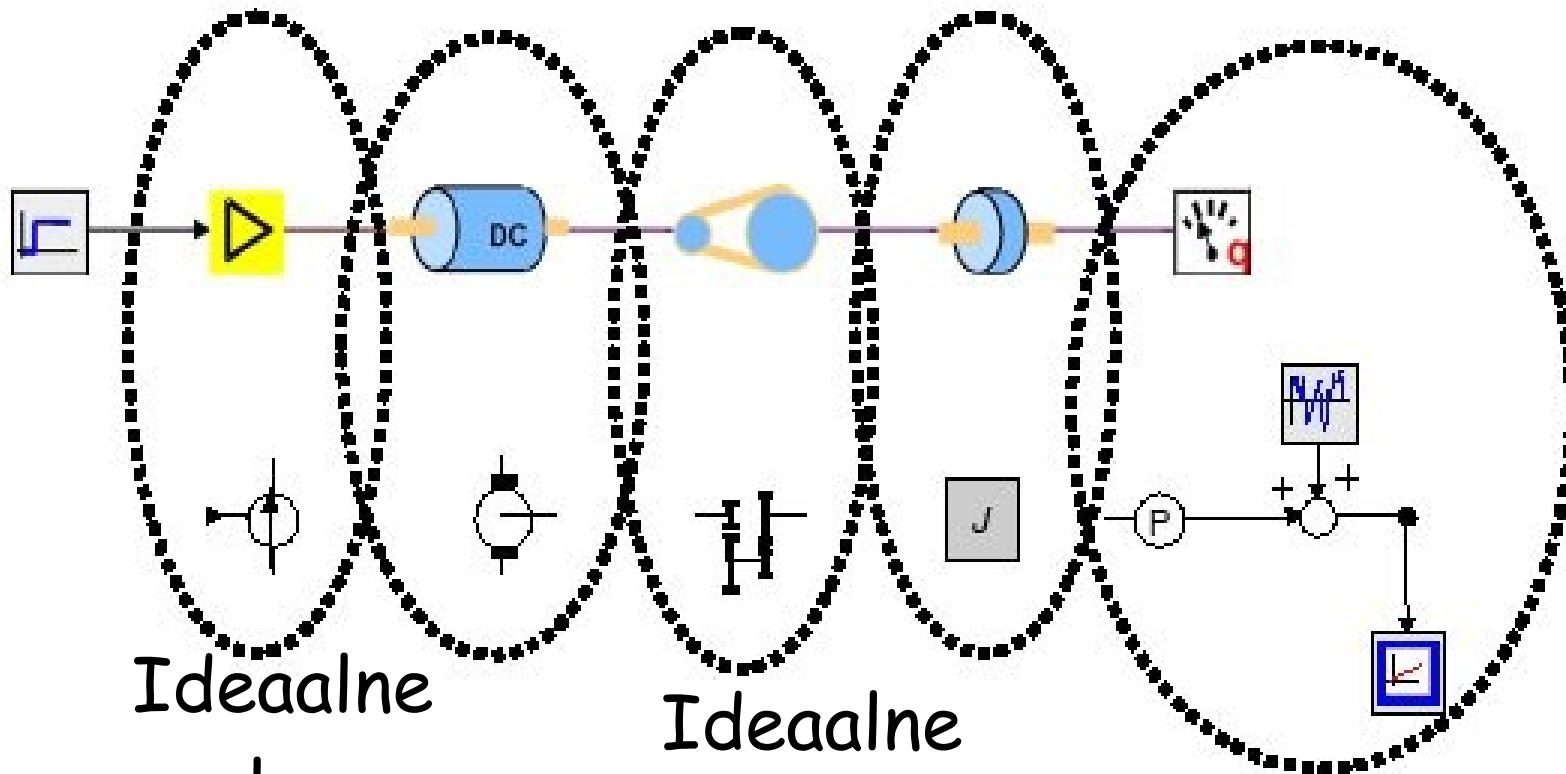
Füüsikalised vs ideaalsed elemendid



Dominantne käitumine antud probleemikontekstis!!!



Liides (port)



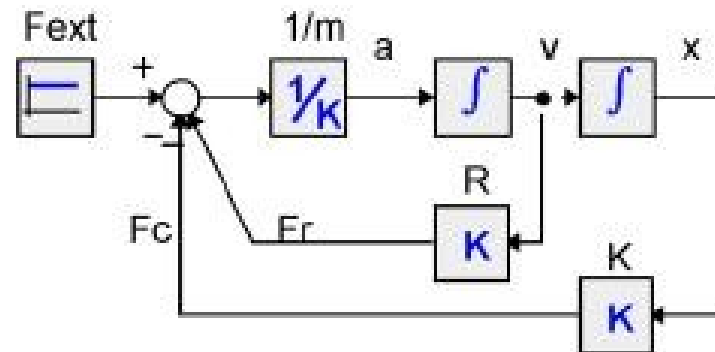
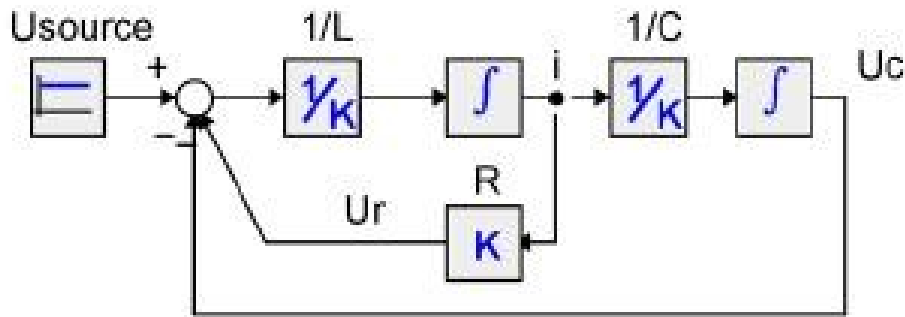
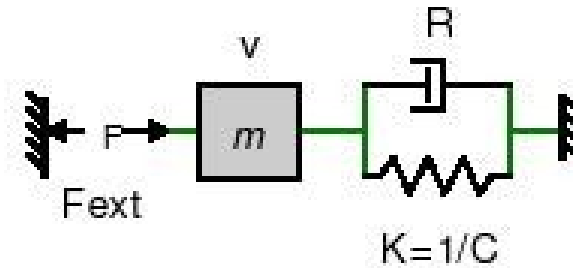
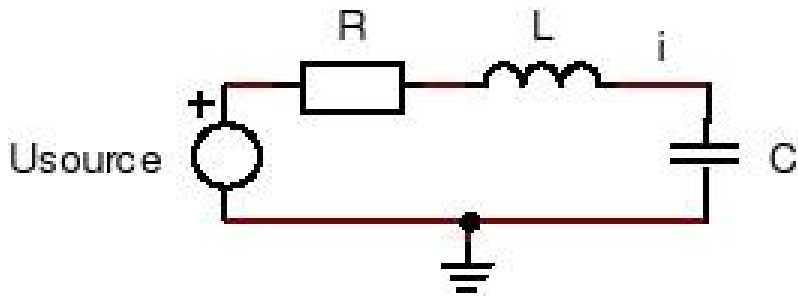
Ideaalne vool

Ideaalne mootor

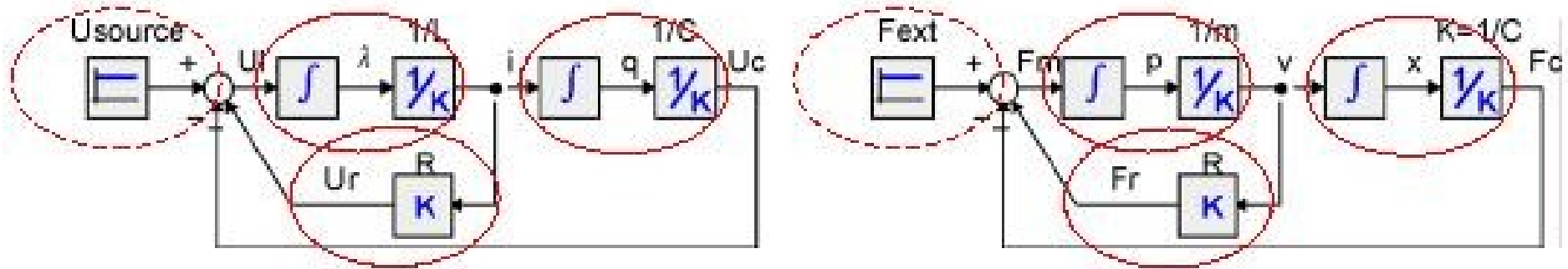
Ideaalne ülekanne

Ideaalne mass

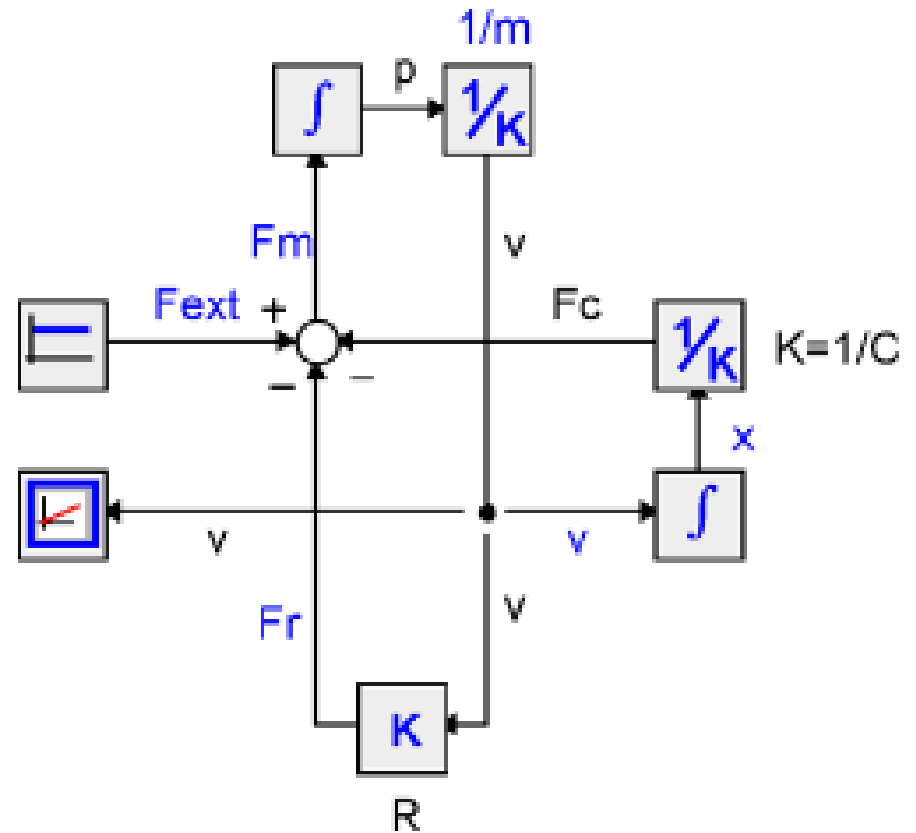
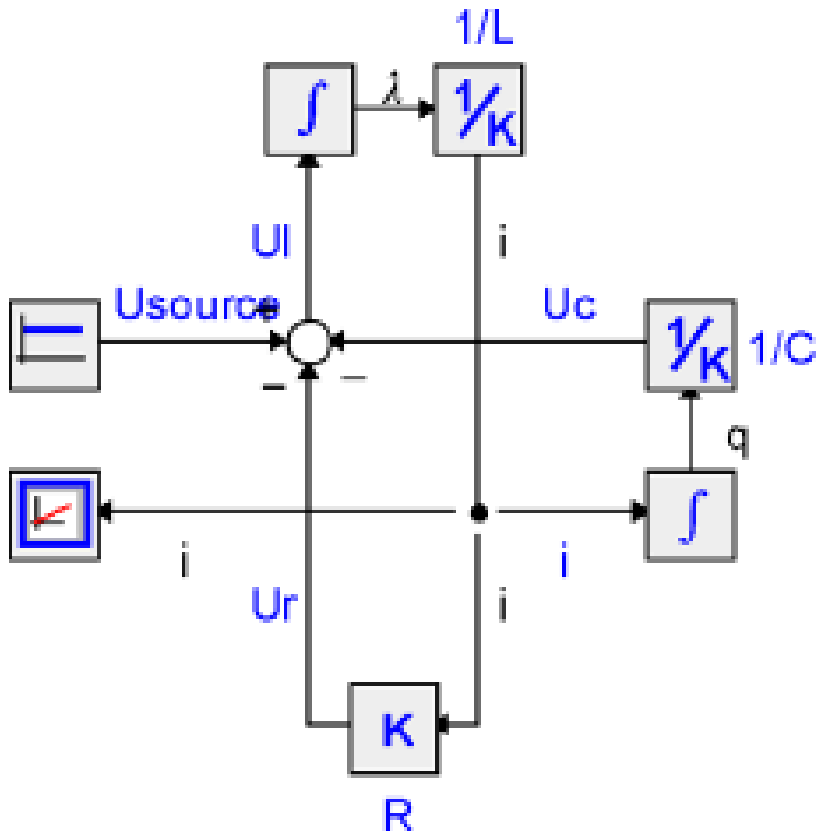
Skeemid ja nende plokkdiagrammid



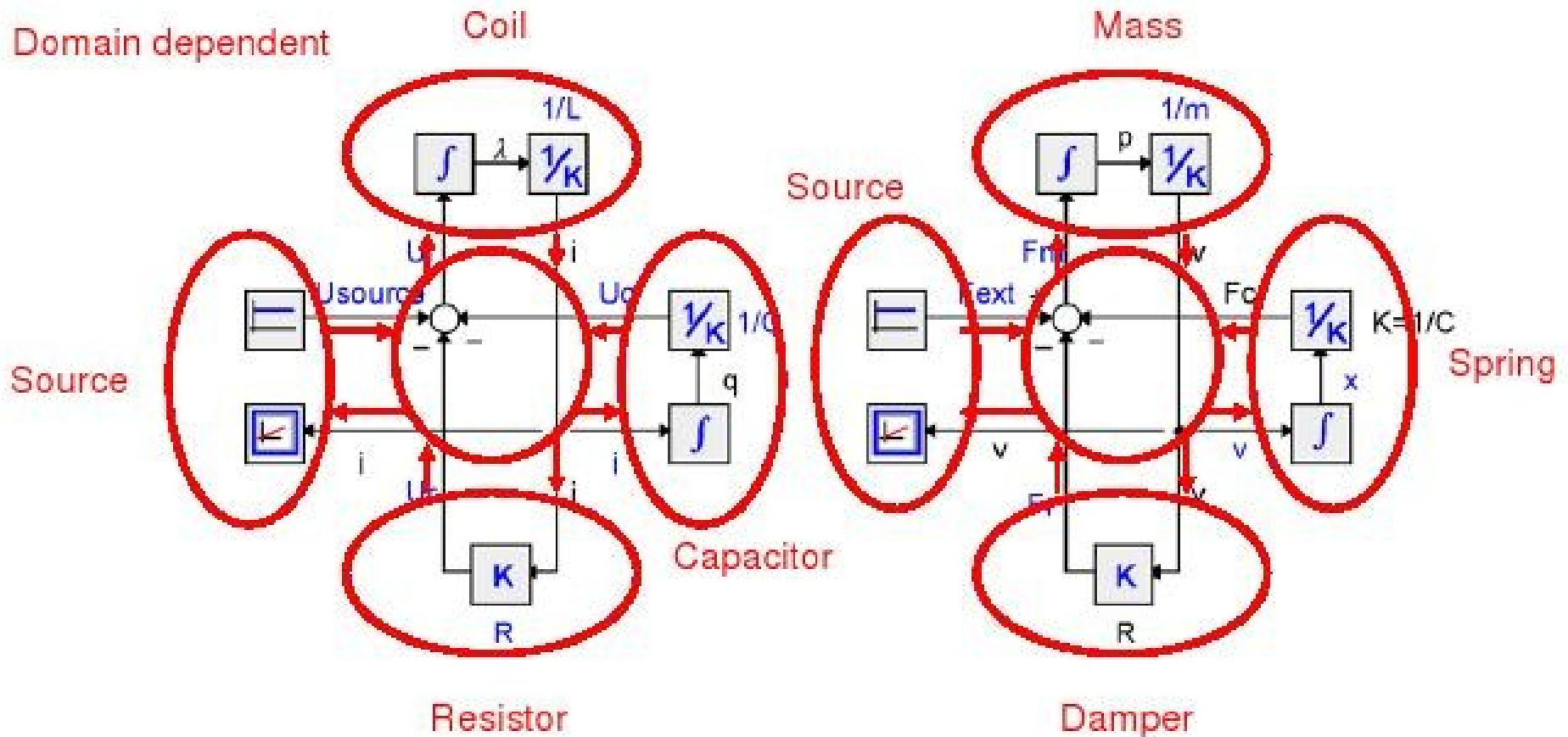
Plokkdiagrammid



Plokkdiagrammid

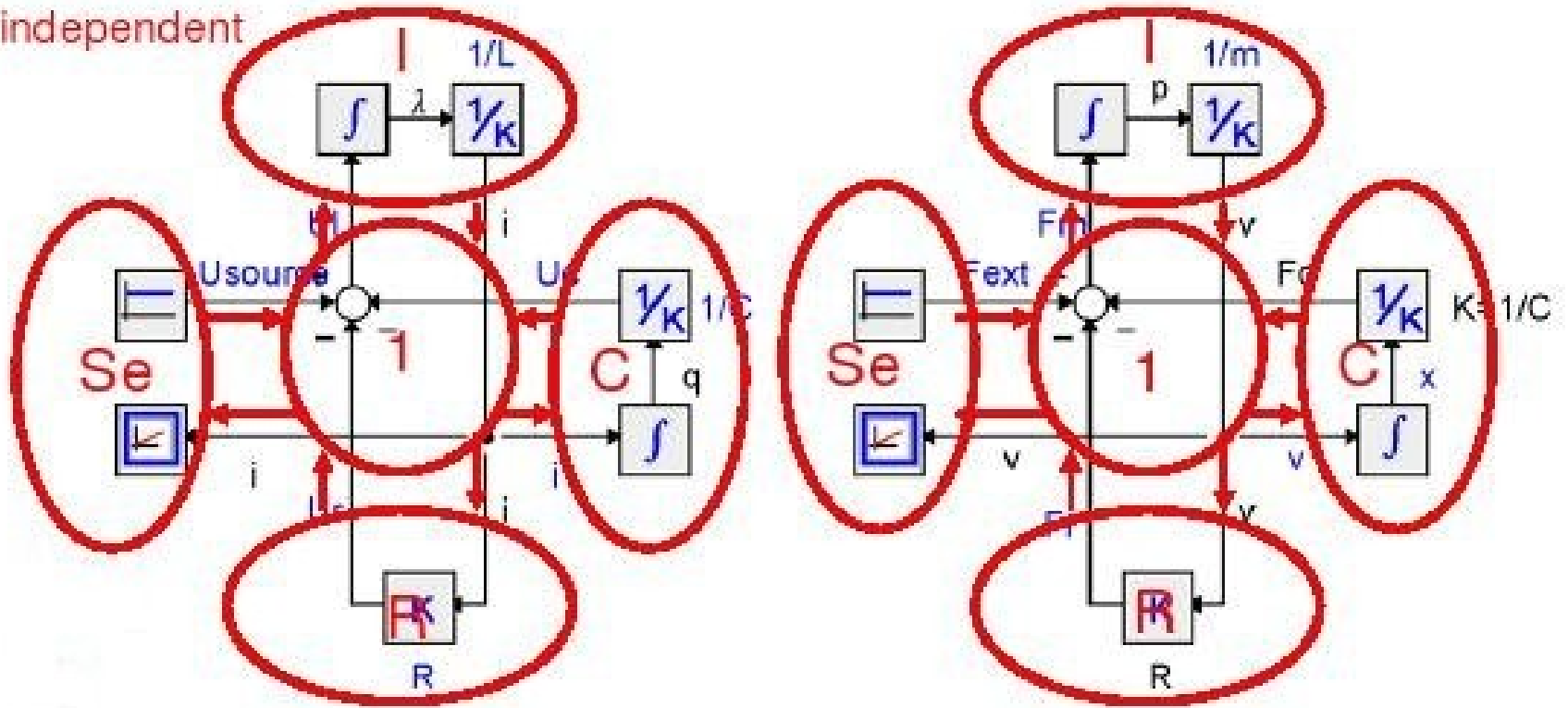


Domeenist sõltuv esitus



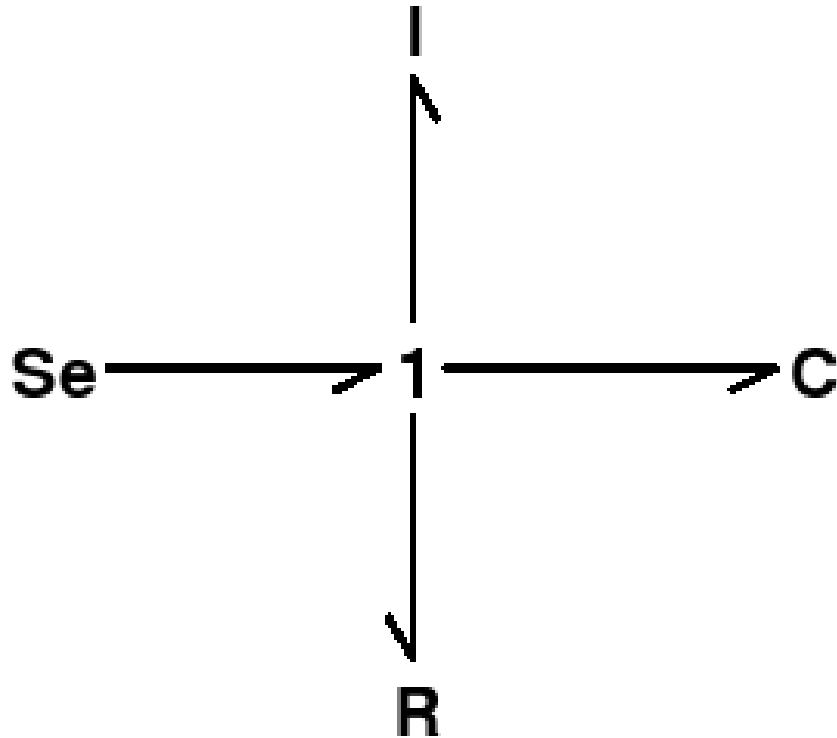
Domeenist sõltumatu esitus!!

Domain independent



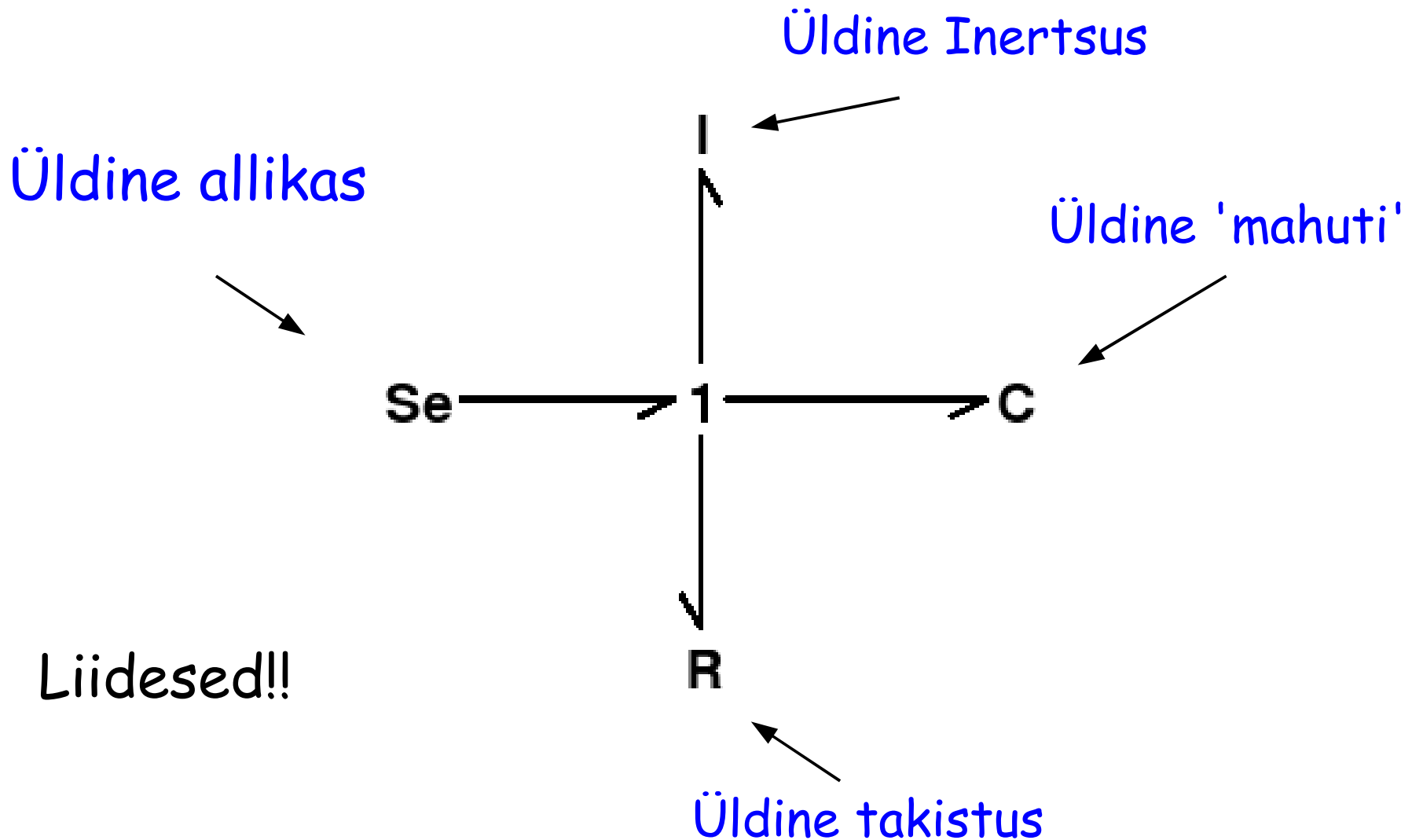


Bond-graph (sidusgraaf)





Bond-graph (sidusgraaf)



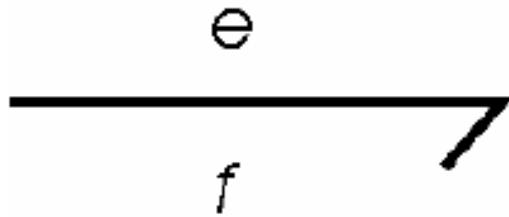
Seosed liideste vahel

- Alammudelid interakteeruvad liidestevaheliste sidemete kaudu
- Füüsikalistes süsteemides **energia (võimsuse)** vahetamine alamsüsteemide vahel.
- Kehtib ka Heaviside printsiip energia liikumise kohta ühest süsteemist teise
- Signaalide võimsus on tühine (opvõim näiteks)
- Võimsus üldiselt, domeenist sõltumatult, kahe konjugeeritud muutuja *effort 'e' ja flow 'f' korrutis*

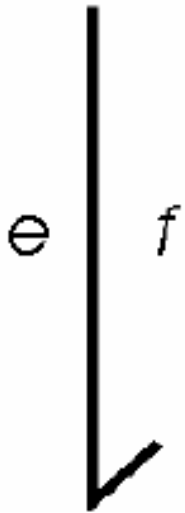
flow ja effort muutujad

- flow - mingi oleku muutumise kiirus (molar rate ntx)
- effort - on tasakaalu määrav muutuja (konsentratsioon näiteks)
- Selline käsitus: **Dünaamiline konjugatsioon**
- **Võimsuse konjugatsioon** - erijuht
 - 'effort' ja 'flow' seonduvad võimsusega
- Näiteks elektris ja magnetismis 'e' = u ja 'f' = i
- Mehhaanikas 'e' = F ja 'f' = v

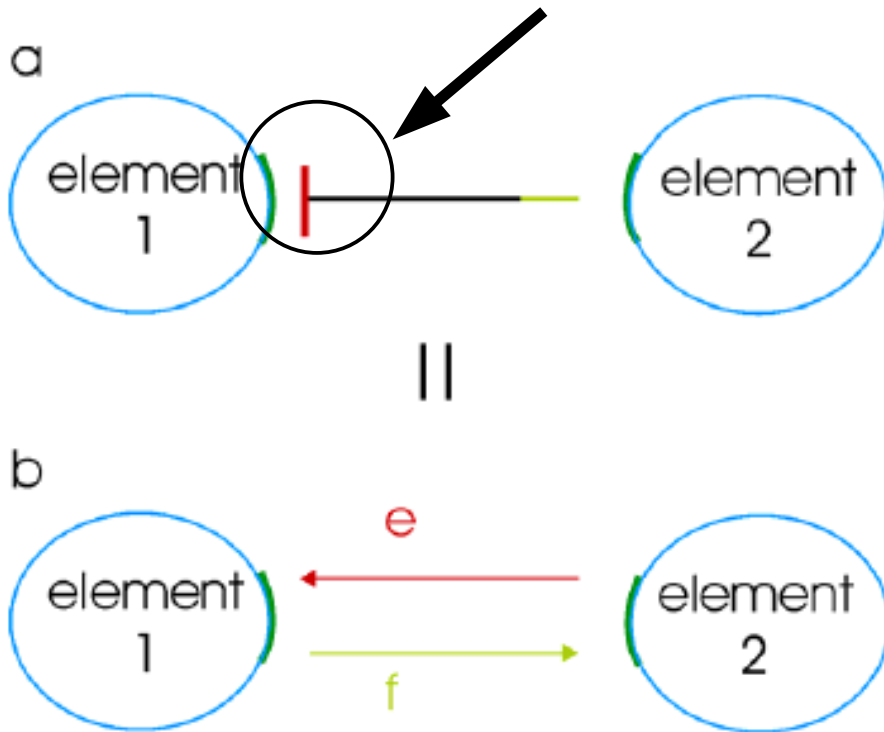
Sidusgraaf notatsioon



- 'e' märgitakse vasakule või peale
- 'f' vastavalt paremale või alla
- poolik nool näitab orientatsiooni, **positiivset** orientatsiooni, sisuliselt positiivse võimsuse liikumise suund



Põhjuslikkus



- Sisendsignaali tõttu tekkiv väljundsignaali muudatus ei saa n.ö eelineda sisendsignaalile.
- Põhjuslikkuse joon.
- Füüsilised süsteemid
- bilateraalsed signaalid

Dünaamiliselt käituvad elemendid, tähistused

- Energia talletamine
 - C, I
- Pöördumatud ülekanded (hajumine)
 - $(M)R(S)$
- Jaotumine
 - 0 -junction (ühendus), 1 -junction (ühendus)
- Allikas ja neel (supply and demand)
 - $(M)S_e$ ja $(M)S_f$
- Pööratavad ülekanded
 - $(M)TF$ ja $(M)GY$

Energia talletamine

- Eeldavad 'aja' olemasolu:
- Seos 'e' ja 'f' vahel alati kahes osas
 - Integreerimine üle aja Energia olekusse. (Seda võimalik asendada aja suhtes diferentseerimisega)
 - Tulemus seotakse 'teise' konjugeeritud muutujaga
- C: 'f' sisendisse -> integreeritakse ja väljundiks 'e'
- I: 'e' sisendisse -> integreeritakse ja väljundiks 'f'

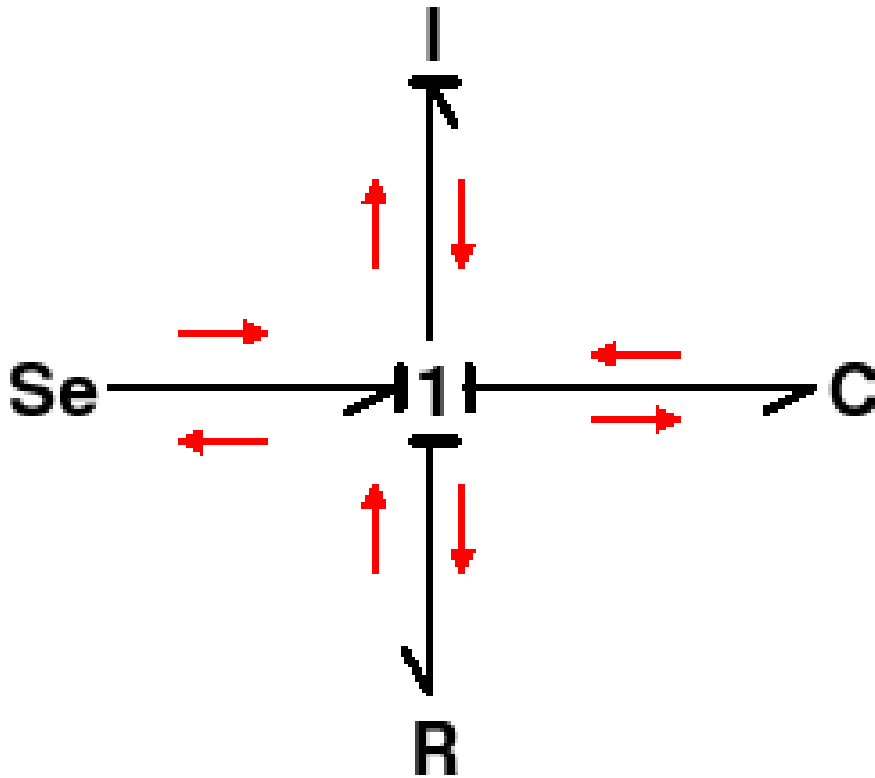
Ülekanded

- Pöördumatud (hajumine)
 - TD 2. seadus, entroopia kasvu seadus rahuldatud!
 - R: sisuliselt vaba energia hajutaja. Entroopia kasv.
 - Ülejäänud süsteemi entroopia toodang on 0
- Pööratavad
 - Transformaator. Seob sisendi 'e' ja 'f' väljundiga
 - Näiteks käigukast, trafo
 - Guraator? Seob ühe liidese 'f' teise liidese 'e'ga
 - Näiteks elektrimootor

Jaotumine!

- Ühenduskoht: sisenev võimsus võrdne väljuvaga
- **0-junction (ühendus)**
 - Voolud peavad summeeruma nulliks (Kirchoff)
 - 'e' peavad olema võrdsed
- **1-junction (ühendus)**
 - Voolud 'f' peavad olema võrdsed!
 - 'e' peab summeeruma nulliks (Kirchhoff)

Tagasi näite juurde



- 'e' - pinge
- 'f' - vool
- Põhjuslikkus + suund!

Matemaatikat...

- Erinevate elementide matemaatilisest käsitlesest

Elementide matemaatilised mudelid

- Energiat salvestavad elemendid C, I
- Suurused:
 - sisendsignaali $u(t)$
 - väljundsignaali $y(t)$
 - olekumuutuja $x(t)$
 - skalaarne energia $E(x)$

Seosed

- Mudel on antud:

$$\begin{cases} \dot{x} = u(t) \\ y(t) = \frac{\partial E}{\partial x} \end{cases}$$

Kuna 'e' ja 'f' annavad võimsuse voo, siis

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\partial E}{\partial x} \dot{x} = yu = P$$

Mõningad olekud..

domain	gen. momentum $-\int e$	gen. displacement $-\int f$
mech. translational	momentum p	displacement x
mech. rotational	angular mom. m	angular displ. θ
electromagnetic	flux linkage ϕ	charge Q
hydraulic	pressure mom. P_p	volume V
thermic	–	entropy E

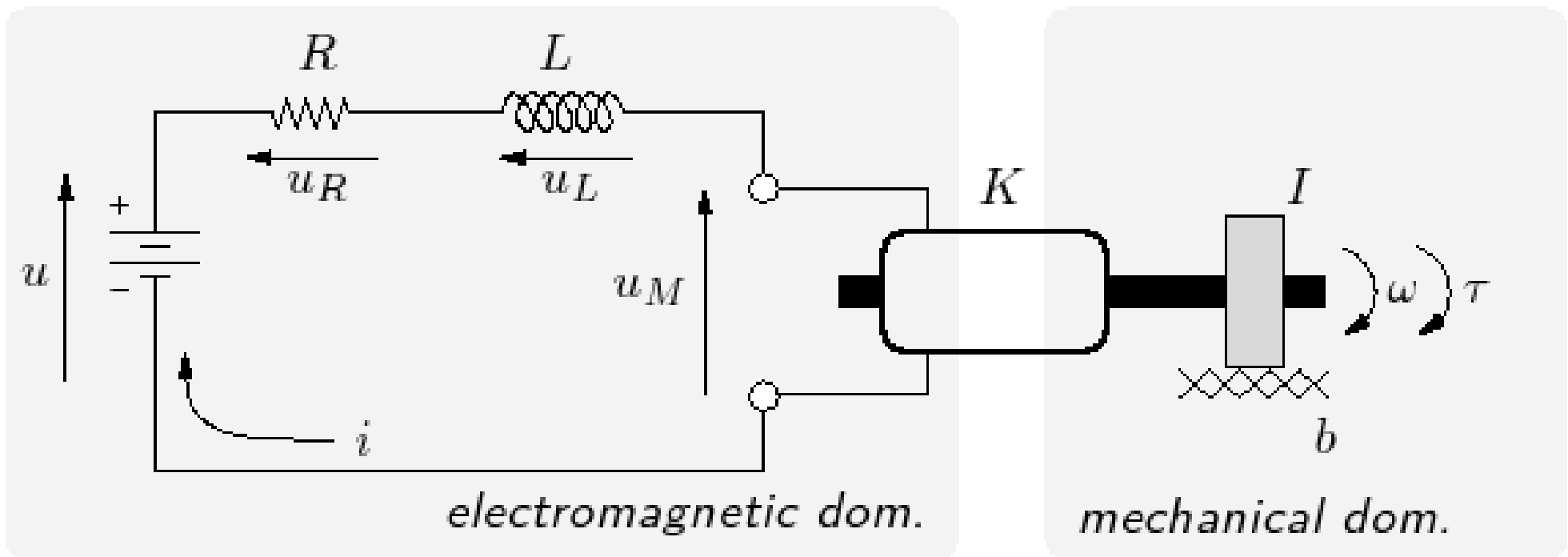
Energiat neelav element **R**

- Mööda graafi serva liigub võimsus ehk $ef=P$
- Kuna energia hajub takistitel, siis $P=ef \leq 0$
- Seega peab graafil serv olema suunatud alati elemendi poole

Ülekandvad elemendid (M)TF ja (M)GY

- Energiakadusid ei ole
- TF
 - $f_{out} = n * f_{in}$
 - $e_{in} = n * e_{out}$
- GY
 - $e_{out} = n * f_{in}$
 - $e_{in} = n * f_{out}$
 - DC: $t = K * i$ ja $u = K * w$

Näide: Alalisvoolumootor



- Talletavad: L, I
- Hajutavad: R, b

- Allikas: u
- Gyro: K

Arvutused...

$$\begin{cases} \dot{p} = \tau_I \\ \omega = \frac{\partial E_I}{\partial p} = \frac{\partial}{\partial p} \frac{p^2}{2I} = \frac{p}{I} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{\phi} = u_L \\ i = \frac{\partial E_L}{\partial \phi} = \frac{\partial}{\partial \phi} \frac{\phi^2}{2L} = \frac{\phi}{L} \end{cases}$$

- kus τ on koormusele mõjuv üldistatud pöördemoment

Arvutused...

- Energiat hajutavate elementide jaoks saame:

$$\tau_b = b \omega \quad U_R = Ri$$

- Mootori jaoks saame

$$\tau = Ki \quad u_m = K \omega$$

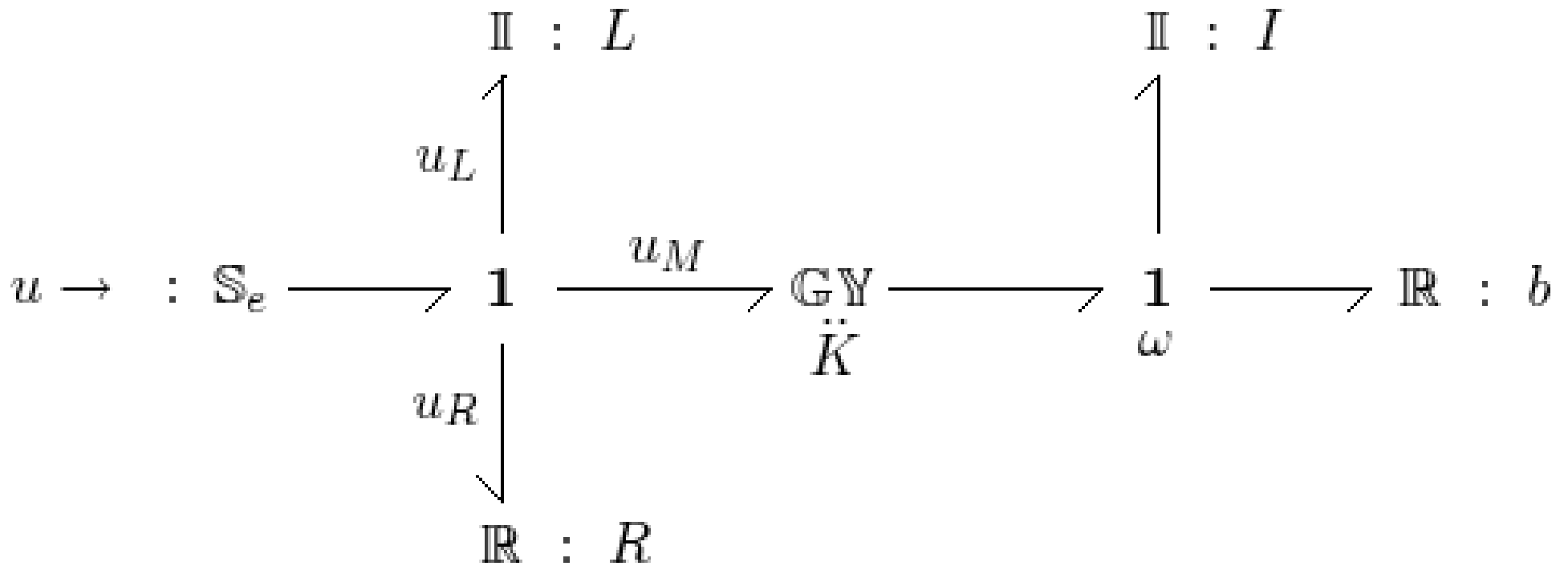
Ja võrgu struktuur avaldub seostest

$$u - u_R - u_L - u_M = 0$$

$$\tau - \tau_I - \tau_b = 0$$



Ja graafi struktuur...



Port-Hamiltonian süsteem

- Kompakte ja üldine esitusviis, kasutades Diraci struktuure
- Lähtutakse süsteemi koguenergiast (hamiltoniaan)
- Uus lähenemisviis (arenev)

DC mootori näide..

Energia

$$H(x) = H(p, \phi) := \frac{1}{2} \frac{p^2}{I} + \frac{1}{2} \frac{\phi^2}{L}$$

Süsteemi dünaamiline mudel:

$$\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \left(\underbrace{\begin{bmatrix} 0 & K \\ -K & 0 \end{bmatrix}}_J - \underbrace{\begin{bmatrix} b & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix}}_R \right) \begin{bmatrix} \frac{\partial H}{\partial p} \\ \frac{\partial H}{\partial \phi} \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}}_G u$$

DC mootori näide

- Lõpuks teada süsteemi läbiv vool

$$y = \frac{\partial H}{\partial \phi} = i$$

And last but not least..

- Videod
- Reaalne näide