

Oversikt videoforelesninger TTK4105 Reguleringssteknikk (Kybernetikk)

Med daværende faglærer Trond Andresen

Utvalg fra: 2018-2021

I dette dokumentet finner du en oversikt over 26 forelesninger á 2x45 minutter i NTNU-emnet (kurset) TTK4105 Reguleringssteknikk. Dette utgjør et helt semester i emnet, som er et grunnkurs i styring av automatiske systemer og den matematiske verktøykassa som trengs til dette.

Hver forelesningstime er beskrevet med noen stikkord. Hvis du søker opp og klikker på et av disse stikkordene, vil du bli brakt direkte til den forelesningen og det tidspunktet hvor faglærer begynner å snakke om akkurat det temaet stikkordet beskriver. Dette er videoopptak som ligger i NTNUs arkivsystem, og de er tilgjengelige for alle. De kan sees via din nettleser.

Dokumentet er kronologisk med en side per forelesningsuke og der ”Forelesning A” og ”Forelesning B” svarer til hhv første og andre forelesningsdag i den uka. Hver uke utgjør 2x2 forelesningstimer. I tillegg finner du lenker til 13 ukentlige tekst-sammendrag av hva det snakkes om. Disse sammendragene er nyttige, fordi læreboka Reguleringssteknikk omfatter svært mye mer enn det som var pensum, slik emnet ble forelest av Trond Andresen i perioden 2018-2021.

MERK: Siden disse forelesningene er opptak fra et virkelig kurs, vil det innimellom forekomme opplysninger om øvinger og praktiske ting som de daværende studentene trengte der og da. Slikt er det bare å ignorere.

Forelesningene er basert på boka Reguleringssteknikk (Balchen, Andresen, Foss) fra 2016. Alle referanser til kapittel, sidetall og eksempel(X) i dette dokumentet refererer dit. Boka er gratis på PDF og kan lastes ned fra lenka under.

Lærebok Reguleringssteknikk

Forelesningsuke 1

Forelesning A

Mandag 07.01.2019, første time

Litteratur: Fagininformasjon

Tema: Introduksjon til faget

Nøkkelord: Introduksjon, Fagininformasjon, Øvingsopplegg, Kybernetikk-eksempler

- 01:23 – Fagininformasjon
- 19:16 – Introduksjon til Kybernetikk
- 22:26 – Eks: Robot
- 23:07 – Eks. Posisjonering av plattform
- 24:16 – Introduksjon til system
- 29:37 – Definisjon Kybernetikk
- 34:04 – Eks: Tegneserie
- 36:20 – Eks: Børs
- 39:26 – Eks: Ultralyd
- 41:05 – Eks: Segway

Mandag 07.01.2019, andre time

Litteratur: Kapittel 1

Tema: Introduksjon til faget

Nøkkelord: Kybernetikk-eksempler, Reguleringsystem, Blokkdiagram, Regulator, Prosess, Referanse, Avvik, Styresignal, Pådrag, Tilstand, Forstyrrelse, Målestøy, Sprangresponser

- 01:17 – Eks: Magnetisk svevetog
- 05:05 – Eks: Svevende globus
- 09:09 – Eksempler på blokkdiagram
- 19:51 – Eks: Vannklosett og sisterner
- 21:36 – Blokkdiagram med sentrale begreper
- 27:23 – Eks: Kraftverk
- 32:05 – Eks: kjøretøy
- 38:26 – Ulike sprangresponser for dynamiske prosesser

Forelesning B

Fredag 11.01.2019, første time

Litteratur: Kapittel 2.1

Tema: Matematisk modellering

Nøkkelord: Modellering, Varmeovergang, Varmekapasitet, Benevninger, Tilstand

- 02:06 – Repetisjon blokkdiagram
- 07:12 – Eks: Varmtvannsbereder (X2.1 s.34)
- 40:17 – Begrepet tilstand

Fredag 11.01.2019, andre time

Litteratur: Kapittel 2.2-2.3

Tema: Førsteordens differensiallikninger

Nøkkelord: Stasjonær løsning, Skalar, Tidsinvariant, Lineær, Ulineær, LTI, Autonom, Kondensator, Kapasitans, Motstand, Tidskonstant, Respons, Sprangfunksjon, Linearitet, Superposisjon

- 00:53 – Benevninger
- 03:19 – Stasjonær modell
- 05:27 – Introduksjon til Differensiallikning
- 16:14 – Løsning på LTI (Linear time invariant)
- 22:39 – Eks: Elektrisk krets (X2.2 s.43)
- 31:20 – Eks: Elektrisk krets - respons (Sprangrespons)
- 37:59 – Linearitet og superposisjon

Tekst-sammendrag av uke 1

Forelesningsuke 2

Forelesning A

Mandag 14.01.2019, første time

Litteratur: Kapittel 2.4

Tema: Impulsrespons og foldning

Nøkkelord: Dirac Delta, Impulsrespons, Folding, Konvolusjon, Convolution, Sprang, Impuls

- 01:02 – Repetisjon linearitet og superposisjon
- 04:06 – Dirac Deltafunksjon - impuls
- 07:37 – Impulsrespons
- 17:48 – Folding-Konvolusjon
- 36:00 – Eks: Elektrisk krets (X2.2 s.43)

Mandag 14.01.2019, andre time

Litteratur: Kapittel 2.4-2.6

Tema: Foldning og systemmodellering

Nøkkelord: Newtons 2.lov, Fasevariable, 2.ordenslikning, Modellforenkling, Balanselikninger, Ordensreduksjon, Modellreduksjon

- 01:34 – Eks: Kraftbalanse svingende masse (X2.5 s.55)
- 12:50 – Omgjøring fra en 2. ordens difflikning til sett av to 1. ordens difflikninger (X2.9 s.67)
- 23:49 – Kort om ulike balanselikninger
- 30:17 – Modellforenkling av varmtvannsbereder
- 34:51 – Modellforenkling av varmtvannsbereder fortsettelse
- 37:09 – Eks: Eksamen 2006 Oppgave 1

Forelesning B

Fredag 18.01.2019, første time

Litteratur: Kapittel 2.5

Tema: Systemmodellering med fokus på likestrømsmotoren

Nøkkelord: Elektromagnetisk fjæring, Likestrømsmotor, Elektriske maskiner, Generator, Servosystemer, Motor, Vinkelakselerasjon, Newtons 2. lov for rotasjon

- 03:20 – Intro elektriske motorer
- 07:33 – Eks: Forskjellige elektriske motorer
- 10:52 – Eks: Likestrømsmotor (X2.8 s.61)
- 20:28 – Eks: Forskjellige elektriske motorer fortsettelse
- 29:49 – Eks: Likestrømsmotor (X2.8 s.61) fortsettelse
- 33:07 – Modellering av likestrømsmotor

Fredag 18.01.2019, andre time

Litteratur: Kapittel 2.5

Tema: Førsteordens differensiallikninger

Nøkkelord: Turtall, Treghetsmoment, Dreiemoment, Likestrømsmotor, Rotor, Stator, Motindusert spenning, Blokkdiagram

- 01:42 – Eks: Elektrisk bilmotor
- 05:00 – Dreiemoment og treghetsmoment
- 09:17 – Modellering av likestrømsmotor fortsettelse
- 18:28 – Blokkdiagrammer
- 24:33 – Eks: Svingende masse - blokkdiagram (X2.11 s.71)
- 30:17 – Eks: Likestrømsmotor - blokkdiagram

Tekst-sammendrag av uke 2

Forelesningsuke 3

Forelesning A

Mandag 21.01.2019, første time

Litteratur: Kapittel 3.1-3.3

Tema: Introduksjon til lineær algebra i reguleringsystem

Nøkkelord: Lineær algebra, Tilstandsrommodeller, Transisjonsmatrise, Matriseeksponensial, Diagonalisering, Dekopling

- 01:42 – Introduksjon til Tilstandsromanalyse
- 04:29 – Eks: Svingende masse (X3.2 s.76)
- 10:54 – Holde styr på matrisedimensjoner (Rektangelmetoden)
- 22:11 – Løsning på ulike ordens system
- 26:34 – Transisjonsmatrisen ved dekopling

Mandag 21.01.2019, andre time

Litteratur: Kapittel 3.3

Tema: Transisjonsmatrise

Nøkkelord: Transisjonsmatrise, Systemmatrise, Pådragsmatrise, Egenvektormatrise, Modalmatrise, Matriseeksponensial, Rekkeutvikling

- 00:00 – Transisjonsmatrisen ved dekopling fortsettelse
- 16:15 – Eks: Finne transisjonsmatrise (X3.3 s.84)
- 30:23 – Eks: Svingende masse - autonomt forløp (X3.4 s.86)
- 36:25 – Forsmak på transisjonsmatrisen ved rekkeutvikling

Forelesning B

Fredag 26.01.2018, første time

Litteratur: Kapittel 3.3

Tema: Transisjonsmatrisen og utregning av tidsforløp

Nøkkelord: Trajektor, Bane, Transisjonsmatrise, Tidsforløp, Rekkeutvikling

- 02:06 – Repetisjon transisjonsmatrise
- 05:27 – Transisjonsmatrisen ved rekkeutvikling (s.80)
- 19:50 – Eks. Svingende masse - Rekkeutvikling (X3.3, s.85)
- 19:50 – Eks. Svingende masse - Rekkeutvikling (X3.3, s.85)
- 30:55 – Tidsforløp - inkludert påadrag(s.82)

Fredag 26.01.2018, andre time

Litteratur: Kapittel 3.3-3.4, MATLAB

Tema: MATLAB, tidsforløp og mono-/multivariable systemer

Nøkkelord: MATLAB, Multivariabel, Monovariabel, Måling, Målestøy, SISO, MIMO

- 00:01 – Eks. Svingende masse - tidsforløp og MATLAB (X3.3, s.84)
- 05:15 – Eks. Svingende masse - variasjon av modellparametre (X3.3, s.84)
- 17:06 – Introduksjon til målinger og multivariable systemer (s.91)
- 27:04 – Impulsrespons for monovariabel system av høyere orden (s.92)

Tekst-sammendrag av uke 3

Forelesningsuke 4

Forelesning A

Mandag 28.01.2019, første time

Litteratur: Kapittel 3.5-3.6

Tema: Valg av tilstandsvariable og linearisering

Nøkkelord: Tilstandsvariable, Tilstandsrom, Systemmatrise, Pådragsmatrise, Målematrise, Kanonisk form, Similitetstransformasjon, Linearisering

- 00:38 – Endring av tilstandsvariable
- 05:45 – Diagonaliserte variable
- 10:11 – Generell kanonisk form
- 15:59 – Kanonisk form med fasevariable
- 26:27 – Eks: Eksamen August 2005 oppgave 5 - linearisering
- 36:23 – Linearisering

Mandag 28.01.2019, andre time

Litteratur: Kapittel 3.6, Kapittel 4.2-4.3

Tema: Linearisering av ulineært system

Nøkkelord: Jacobimatrise, Reaktor, Referansepunkt, Laplace, Differensiallikninger, t-plan, s-plan

- 00:10 – Linearisering fortsettelse
- 06:19 – Eks: Linearisering av reaktormodell (X3.6 s.102)
- 19:34 – Eks: Linearisering av reaktormodell - blokkdiagram (X3.6 s.102)
- 26:15 – Laplacetransformasjon - introduksjon
- 29:00 – Laplacetransformasjon definisjon og enkle regler
- 37:26 – Eks: 1. ordens lineær differensiallikning (s.113)

Skrev feil på tavla
ca. 10:55
 $u(t)$ er $(1-e^{-t/T})$

Forelesning B

Fredag 02.02.2018, første time

Litteratur: Kapittel 4.1-4.4

Tema: Enkel bruk av Laplacetransformasjon i reguleringsteknikk

Nøkkelord: Laplacetransformasjon, Transferfunksjon, Sprangrespons, Tidsforløp, Invers Laplacetransformasjon, rasjonalt uttrykk, Residuregning

- 00:30 – Repetisjon Laplacetransformasjon og blokkdiagram
- 08:05 – Laplacetransformasjon - vanlig forekommende tidsforløp s.112)
- 18:20 – Eks. Sprangrespons for (4.24) (X4.2, s.113)
- 29:20 – Eks. Modell av svingende masse - (X4.1, s.107)
- 37:08 – Høyere ordens lineær differensiallikning (s.114)
- 40:34 – Invers Laplacetransformasjon - reisudregning (s.115)

Fredag 02.02.2018, andre time

Litteratur: Kapittel 4.4-4.5, Kompleks funksjonsteori (ikke pensum)

Tema: Transferfunksjoner og invers Laplacetransformasjon

Nøkkelord: Begynnelsesbetingelser, Transferfunksjon, Pol, Nullpunkt, Egenverdi, Invers Laplacetransformasjon, Residuregning, Laplacetransformpar

- 01:54 – Invers Laplacetransformasjon - residuregning (s.115)
- 09:52 – Eks. Elektrisk krets - residuregning (X4.3, s.118)
- 30:16 – Transferfunksjoner (s.119)
- 32:44 – Blokkdiagram - s-planet, forenklinger (s.122)
- 39:33 – s-planet og z-planet

Forelesningsuke 5

Forelesning A

Mandag 04.02.2019, første time

Litteratur: Kapittel 4.5,

Tema: Blokkdiagram i Laplaceplanet

Nøkkelord: Blokkdiagram, Forenkling, Sammenslåing, Tilbakekobling, Reduksjon

- 01:48 – Impulsrespons i Laplacedomenet fortsettelse
- 05:06 – Blokkdiagram i Laplacedomenet
- 08:25 – Forenkling av blokkdiagram i Laplacedomenet
- 18:47 – Eks: Blokkdiagram for 1. ordens lineær differensiallikning (X4.5 s.124)
- 22:27 – Eks: Reduksjon av blokkdiagrammet til et fjærsystemet for bil (X4.6 s.125)

Mandag 04.02.2019, andre time

Litteratur: Kapittel 4.5-4.6,

Tema: Sluttverditeoremet og bruk av s som derivasjonsoperator

Nøkkelord: Sluttverditeoremet, Derivasjonsoperator, PI-regulator, Integralvirkning, Proporsjonal, Vektordifferensiallikning, Resolventmatrise, Transisjonsmatrise

- 00:19 – Sluttverditeoremet
- 17:51 – Blokkdiagram i tidsplan - s som derivasjonsoperator
- 22:58 – Replikk: Benevninger i transferfunksjoner
- 25:08 – Intuitiv introduksjon til PI-regulator
- 35:12 – Eks: Effekt av integralvirkning
- 37:48 – Lineære vektordifferensiallikninger

Forelesning B

Fredag 08.02.2019, første time

Litteratur: Kapittel 4.6

Tema: Transfermatrisen og bruk av resolventmatrisen til å finne transferfunksjoner

Nøkkelord: Resolventmatrise, Karakteristisk polynom, Transfermatrise

- 00:16 – Transisjonsmatrisen ved invers Laplacetransformasjon
- 12:09 – Eks: Svingende masse - finne resolventmatrise (X4.7 s. 131)
- 25:35 – Eks: Svingende masse - transferfunksjon fra u til x utregnet direkte (X4.7 s. 131)
- 29:16 – Transfermatrise

Fredag 08.02.2019, andre time

Litteratur: Kapittel 4.6-4.7,

Tema: Transfermatrisen og dens bruksområder

Nøkkelord: Hydrofoil, Transfermatrise, Måling, Tilstandsrombeskrivelse, Poler, Nullpunkt

- 00:08 – Eks: Hydrofoil
- 03:32 – Fra transferfunksjon til tilstandsrombeskrivelse
- 12:55 – Visning av formelheftet til eksamen
- 14:56 – Poler og nullpunkt til system
- 31:00 – Eks: System med svingene masse (X4.9 s. 140)
- 35:22 – Eks: System med svingene masse - Betydning av polplassering (X4.9 s. 140)

Tekst-sammendrag av uke 5

Forelesningsuke 6

Forelesning A

Torsdag 15.02.2018, første time

Litteratur: Kapittel 4.7

Tema: Systemrespons som følge av polplassering og impulsrespons

Nøkkelord: Systemrespons, Tidsforløp, Polplassering, Tidskonstant, Impulsrespons, Signaler og systemer

- 00:19 – Eks. Svingende masse - nevnerpolynom og polers plassering i s-plan (X4.9, s.140)
- 05:46 – Eks. Svingende masse - reelle distinkte poler (X4.9, s.140)
- 22:20 – Grafisk fremstilling av tidsforløp - reelle distinkte poler (s.141)
- 26:48 – Eks. Svingende masse - sammenfallende poler (X4.9, s.142)
- 30:04 – Systemers påvirkning på signal og deres impulsrespons
- 37:49 – Grafisk fremstilling av tidsforløp - sammenfallende poler (s.143)
- 40:25 – Eks. Svingende masse - komplekskonjugerte poler (X4.9, s.143)

Torsdag 15.02.2018, andre time

Litteratur: Kapittel 4.7

Tema: Tidsforløp og egenskaper til et system med komplekskonjugerte poler

Nøkkelord: Absolutt dempningsfaktor, Svingefrekvens, Resonansfrekvens, Relativ dempningsfaktor, Faseforskyvning, Overdempet, Kritisk dempet, Underdempet, Begynnelsesverditeoremet, Ikke strengt propert

- 00:23 – Eks. Svingende masse - komplekskonjugerte poler og definerte størrelser (X4.9, s.143)
- 14:15 – Grafisk fremstilling av tidsforløp - komplekskonjugerte poler (s.146)
- 22:02 – Grafisk fremstilling av respons og polplassering (s.148)
- 25:13 – Knytting av komplekskonjugerte poler til virkeligheten
- 32:06 – Forløp til noen vanlige transferfunksjoner (s.151)
- 37:58 – Begynnelsesverditeoremet

Forelesning B

Fredag 16.02.2018, første time

Litteratur: Kapittel 4.7

Tema: Modellreduksjon og polbevegelse ved regulering

Nøkkelord: Polplassering, Modellreduksjon, Blokkdiagram, Tilnærming, P-regulator, Rotkurver, Root locus

- 00:29 – Modellforenkling
- 01:26 – Eks. Likestrømmotor - modellreduksjon(orden) (X4.10, s.154)
- 16:19 – Eks. Likestrømmotor - modellforenkling(form) (X4.11, s.156)
- 19:31 – Intro til Rotkurver (s.154)
- 26:02 – Eks. Likestrømmotor - introduksjon til regulering (X4.12, s.157)
- 32:08 – Kort repetisjon av komplekskonjugerte poler (s.142)
- 44:41 – Polene i det lukkede system og polbevegelse (s.154)

Fredag 16.02.2018, andre time

Litteratur: Kapittel 4.7

Tema: Avslutning av kapittel 4

Nøkkelord: Root locus, Rotkurver, Polbevegelse, PD-regulator, Tidsforsinkelse, Irrasjonale transferfunksjoner, Tidsforsinkelse

- 00:26 – Polene i det lukkede system og polbevegelse (s.154)
- 05:30 – Eks. Likestrømmotor effekt av forenkling(X4.13, s.159)
- 09:55 – Eks. Likestrømmotor PD-regulator (X4.14,s.161)
- 17:21 – Algebraisk betydning av nullpunkt (s.164)
- 27:10 – Transferfunksjoner med tidsforsinkelse (s.168)

Forelesningsuke 7

Forelesning A

Onsdag 19.02.2020, første time

Litteratur: Kapittel 4.7, Kapittel 6.1-6.2

Tema: Avslutning av kapittel 4 og introduksjon til kapittel 6

Nøkkelord: Irrasjonale transferfunksjoner, Tidsforsinkelse, I-regulator, Padé-approksimasjon, Frekvensrespons, Transient, Stasjonær, Fourier transformasjon, Invers Fourier-transformasjon

- 00:00:28 – Repetisjon av tidsforsinkelse (s.171)
- 00:03:26 – Eks. I-regulator (s.170)
- 00:12:36 – Padé-approksimasjon (s.171)
- 00:19:54 – Introduksjon til kapittel 6
- 00:23:19 – Innledning til frekvensrespons (s.194)
- 00:36:28 – Bevis på inverstransformasjon av sinusfunksjon (s. 196)

Onsdag 19.02.2020, andre time

Litteratur: Kapittel 6.1-6.2, Laplace og Fourier

Tema: Frekvensrespons og transformasjon fra frekvensplan til tidsplan

Nøkkelord: Invers Fourier-transformasjon, Eulers formler, Vinkel, Elektrisk krets, Lavpassfilter, Amplitude, Fase

- 01:00:04 – Bevis på inverstransformasjon av sinusfunksjon (s. 196) fortsettelse
- 01:17:14 – Frekvensrespons, amplitudforhold og fasevinkel
- 01:22:45 – Eks. Frekvensresponsen til en transferfunksjon med et nullpunkt (X6.2 s. 197)
- 01:28:06 – Eks. Frekvensresponsen til et førsteordenssystem (X6.3 s. 198)
- 01:37:35 – Amplitude og faseforskyvning til høyere ordens system (s. 199)
- 01:41:47 – Frekvensrespons til ren tidsforsinkelse (s. 200)

Forelesning B

Fredag 21.02.2020, første time

Litteratur: Kapittel 6.3-6.4

Tema: Grafisk representasjon av frekvensrespons

Nøkkelord: Bodediagram, Asymptoter, Desibelskalaen

- 00:00:27 – Anvendelse og repetisjon av frekvensanalyse
- 00:05:13 – Grafisk representasjon av frekvensrespons
- 00:08:09 – Desibelskalaen (s. 202) og grafing av monovariabel systemer
- 00:12:00 – AF- (Bode-) diagram akser
- 00:16:19 – Diagrammer for vanlig forekommende transferfunksjoner (s. 203)
- 00:23:16 – Fastlegge asymptotene til en førsteordens transferfunksjon (s. 211)
- 00:43:49 – Bodediagrammet for en ren integrator (s. 209)
- 00:49:50 – Video: Bose demping

Fredag 21.02.2020, andre time

Litteratur: Kapittel 6.4

Tema: Bodediagram for transferfunksjonens forskjellige ledd

Nøkkelord: Bodediagram for flere ledd, Integratorledd, Resonansledd

- 00:43:49 – Bodediagrammet for en ren derivator(s. 210)
- 01:06:18 – Eks. Asymptotisk Bodediagram for en transferfunksjon med flere ledd (X6.6 s.217)
- 01:17:13 – Resonansledd (X6.4 s.206)
- 01:24:37 – Video: Tacoma bridge og helikopter resonansfrekvens
- 01:26:46 – Asymptoter for 2. ordens system

Tekst-sammendrag av uke 7

Forelesningsuke 8

Forelesning A

Onsdag 26.02.2020, første time

Litteratur: Kapittel 6.4, Kapittel 7.1-7.2

Tema: Ikke-minimum-fase-systemer og introduksjon til tilbakekoblede systemer

Nøkkelord: Ikke-minimum-fase, Pol i høyre halvplan, Tidsforsinkelse, Sløyfer, Servo- og prosessregulering

- 00:01:02 – Motivasjon: Bodediagram
- 00:01:49 – Eks: System med nullpunkt i høyre halvplan (X6.7 s.220)
- 00:13:55 – Konsekvenser for ikke-minimum-fase system
- 00:21:01 – Ikke-minimum-fase med Tidsforsinkelse

- 00:33:50 – Introduksjon til kapittel 7
- 00:34:36 – Eks: Likestrømsmotor og tilbakekobling - definering av begreper (X7.1 s.237)

Onsdag 26.02.2020, andre time

Litteratur: Kapittel 7.2

Tema: Avviksforhold og Følgeforhold

Nøkkelord: Avviksforhold, $N(s)$, Følgeforhold, $M(s)$, Reguleringsgrad

- 00:56:57 – Tilbakekobling i monovariabel systemer
- 00:59:15 – Spalte prosessen i h_u og h_v
- 01:04:26 – Eksempel: spalte prosess
- 01:07:33 – Nyttene av å spalte prosessen
- 01:19:52 – Begrepsdefinisjoner: Følgeforhold, Avviksforhold og Reguleringsgrad
- 01:31:15 – Eks: Følgeforholdet (og avviksforholdet) til et system (X7.2 s.243)
- 01:41:29 – Forsmak: Nyquistdiagram

Forelesning B

Fredag 28.02.2020, første time

Litteratur: Kapittel 7.2

Tema: Frekvensanalyse av monovariabel tilbakekoblede systemer

Nøkkelord: Nyquistdiagram, Amplitude-Fase-diagram, Avviksforhold og Følgeforhold

- 00:01:12 – De ulike diagrammene som benyttes
- 00:03:44 – Repetisjon avviksforhold og følgeforhold
- 00:05:47 – Amplitudeforløp for M og N
- 00:14:55 – Nyttverdig i amplitudeforløp for M og N
- 00:18:57 – Eks: Asymptotisk AFF-diagram for $N(j\omega)$ (X7.3 s.246)
- 00:29:45 – Hva forteller rutenettet med de konsentriske sirklene i nyquistdiagrammet i figur 7.11
- 00:43:31 – Nicholsdiagram (AF-diagram)

Fredag 28.02.2020, andre time

Litteratur: Kapittel 7.2

Tema: Nicholsdiagram

Nøkkelord: Nicholsdiagram, Nyquistdiagram

- 01:03:06 – Start 2. time
- 01:03:50 – Nicholsdiagram fortsettelse
- 01:10:05 – Bruk av Nicholsdiagram
- 01:13:56 – Eks: Bruk av Nicholsdiagram (X7.4 s.251)
- 01:22:44 – Eks: Bruk av Nicholsdiagram (X7.4 s.251) i MATLAB
- 01:28:43 – System med dynamisk tilbakekobling

Tekst-sammendrag av uke 8

Forelesningsuke 9

Forelesning A

Onsdag 04.03.2020, første time

Litteratur: Kapittel 8.1-8.2

Tema: Stabilitet

Nøkkelord: Asymptotisk stabilitet, Marginal stabilitet, Ustabilitet, Inngangs-/utgangsstabilitet

- 00:00:44 – Tilbakeblikk kapittel 4 (X4.13 s.159)
- 00:05:47 – Inngangs-/Utgangsstabilitet
- 00:11:10 – Impulsrespons og pol-/nullpunktplassering
- 00:20:39 – Eks: 8.2 Dobbelintegrator (X8.2 s.267)
- 00:22:47 – Definisjoner stabilitet ift. polplassering

- 00:25:48 – Stabilitet i prosess og regulator
- 00:32:25 – Stabilitet i tilstandsrommet
- 00:36:03 – Eks: Stabilitet for autonomt system (s.113)

Onsdag 04.03.2020, andre time

Litteratur: Kapittel 8.3, Pyramidespill og finansiell akkumulasjon

Tema: Stabilitetsbetingelser i rasjonal transferfunksjon, og modell av finansielt pyramidespill

Nøkkelord: Karakteristisk polynom, Stabilitetskriterier, Finansiell modell

- 00:56:53 – Oppgave: Stabilitet for system med tidsforsinkelse
- 01:02:53 – Svar på oppgave
- 01:09:06 – Algebraiske kriterier for stabilitet
- 01:20:00 – Rouths kriterium og bruk til eksamen
- 01:23:40 – Eks: Stabilitetsregning med tilnærmet tidsforsinkelse (X8.12 s.283)
- 01:02:53 – Rasjonal transferfunksjon og stabilitetsbetingelser
- 01:31:17 – Finansielt pyramidespill

Forelesning B

Fredag 06.03.2020, første time

Litteratur: Kapittel 8.4

Tema: Stabilitet ved tidsforsinkelse i transferfunksjonen og hvordan bruke Nyquists stabilitetskriterium

Nøkkelord: Nyquists stabilitetskriterium

- 00:01:14 – Kort repetisjon stabilitet
- 00:02:19 – Nyquists Stabilitetskriterium intro
- 00:04:29 – Bruk av Nyquists Stabilitetskriterium
- 00:24:42 – Utledning av Nyquists stabilitetskriterium

Fredag 06.03.2020, andre time

Litteratur: Kapittel 8.4

Tema: Nyquists stabilitetskriterium

Nøkkelord: Nyquist, Stabilitet, tidsforsinkelse

- 00:54:55 – Svar på spørsmål Nyquists stabilitetskriterium
- 00:58:15 – Nyquist med tidsforsinkelse
- 01:04:41 – Nyquist med tidsforsinkelse MATLAB

Tekst-sammendrag av uke 9

Forelesningsuke 10

Forelesning A

Onsdag 17.03.2021, første time

Litteratur: Kapittel 8.4

Tema: Stabilitet

Nøkkelord: Nyquist, poler, forsterkning, omega180

- 01:30 – Nyquist stabilitetskriterium - repetisjon
- 10:45 – Eks: Åpent stabilt system med poler i venstre halvplan (X8.13 s.289)
- 17:55 – Eks: Åpent stabilt system med pol på den imaginære akse (X8.14 s.290)
- 30:50 – Stabilitetsundersøkelse basert på koeffisientene i nevnerpolynom.
- 37:40 – Matlab (X8.13-14 s.289-290)

Onsdag 17.03.2021, andre time

Litteratur: Kapittel 8.4

Tema: : Åpent stabile systemer

Nøkkelord: Åpent stabilt, AF-diagram, Bodediagram, Fasemargin, Forsterkningsmargin, Stabilitetsmargin

- 02:35 – Logaritmisk Nyquistdiagram
- 05:35 – Eks: Stabilitetsundersøkelse av åpent stabilt system i AF-diagram (X8.16 s.299)
- 17:50 – Eks: Bode-Nyquist kriteriet på regulering av likestrømsmotor (X8.18 s.302)
- 27:15 – Fasemargin og forsterkningsmargin

Forelesning B

Fredag 16.03.2018, første time

Litteratur: Kapittel 8.4

Tema: Åpent ustabil system, Eksempler på bruk av AF-diagrammer og transferfunksjoner til å forutse systemoppførsel og marginer

Nøkkelord: Åpent ustabil, Nyquistdiagram, Stabilitetsmargin, Fasemargin, Forsterkningsmargin, PI-regulator, Vannkraftverk, Regulatorsyntese

- 00:51 – Åpent ustabil system (s.295)
- 26:14 – Eks. "Betinget stabilt" system i AF-diagram (X8.17, s.300)
- 34:42 – Logaritmisk Nyquistdiagram (ikke pensum!)
- 36:15 – Eks. Fase-/forsterkningsmargin i stabilitetsundersøkelse (X8.19, s.306)

Fredag 16.03.2018, andre time

Litteratur: Kapittel 8.4, 0-db-linja - hvordan fastlegge?

Tema: Tegning av Bodediagram og introduksjon til PI-regulatoren

Nøkkelord: Kritisk forsterkning, Stabilitetsgrense, Bodediagram, PI-regulator, Geometrisk middelverdi

- 00:11 – Eks. Fase-/forsterkningsmargin i stabilitetsundersøkelse (X8.19,s.306)
- 02:45 – Eks. Tegning av Bodediagram for h_0
- 08:33 – Hvordan og hvorfor bestemme kritisk forsterkning (Kpk)
- 17:53 – PI-regulatoren og påvirkning i Bodediagram
- 26:47 – Korresponderende Nicholsdiagram til system med PI-regulator(s.310)

Tekst-sammendrag av uke 10

Forelesningsuke 11

Forelesning A

Mandag 18.03.2019, første time

Litteratur: Kapittel 9.1-9.3

Tema: Regulatorsyntese med hensyn til stabilitet(derivatvirkning)

Nøkkelord: Avviksforhold, Følgeforhold, Kryssfrekvens, Båndbredde, Derivatvirkning, Faseheving, Begrenset PDregulator

- 01:16 – Prosessregulering vs følgeregulering
- 08:41 – Systemspesifikasjoner for et regulert system
- 10:58 – Kryssfrekvens og båndbredde
- 20:26 – Eks: PD-regulering av en prosess med to integrasjoner (X9.5 s.341)

Mandag 18.03.2019, andre time

Litteratur: Kapittel 9.4

Tema: Introduksjon til regulatorsyntese(integralvirkning)

Nøkkelord: Stasjonæravvik, Integralvirkning, Regulatorsyntese, Reguleringsgrad, Sluttverditeoremet

- 00:46 – Seriekompensasjon
- 06:22 – Når trenger vi integralvirkning?
- 13:05 – Eks: Bruk av integralvirkning
- 19:40 – Eks: Stasjonært avvik – utvidelse av eksempel 9.5 (X9.12 s.389)
- 35:04 – Sammenhengen mellom sluttverditeoremet og frekvensrespons

Forelesning B

Fredag 22.03.2019, første time

Litteratur: Kapittel 9.3-9.4

Tema: Regulator med integralvirkning, Tuning av regulatorparametre

ved bruk av Ziegler-Nichols metode

Nøkkelord: PID, Ziegler-Nichols metode, Tuning, Sluttverditeoremet, Frekvensrespons

- 00:30 – Oversikt Kapittel 9
- 05:43 – Regulering med integralvirkning (PID)
- 13:23 – Ziegler-Nichols metode
- 26:04 – Eks: Bruk av Ziegler-Nichols metode (X9.7 s.359)

Fredag 22.03.2019, andre time

Litteratur: Kapittel 9.2-9.3

Tema: Åpen-sløyfe - PI-tuning (SIMC), Betraktning av følgesystem til forskjellige referanser

Nøkkelord: SIMC-metoden, Følgesystem, Rampefunksjon, Regulatorsyntese, Tidsforsinkelse, Integralregulering

- 05:07 – SIMC-metoden
- 18:10 – Spesifikasjon for følgesystem
- 37:11 – Eks: Integralregulering av ren transportforsinkelse (X9.6 s.343)

Tekst-sammendrag av uke 11

Forelesningsuke 12

Forelesning A

Mandag 25.03.2019, første time

Litteratur: : Kapittel 9.7

Tema: Utledning og bruk av Otto-Smith-regulatoren

Nøkkelord: Otto-Smith-regulator, Estimator, Tidsforsinkelse, Papirmaskin

- 00:23 – Tilbakeblikk Integralregulering tidsforsinkelse (X9.6 s.343)
- 03:28 – Utledning av Otto-Smith-regulator
- 22:40 – Otto-Smith-regulator som modellbasert regulator/estimator
- 31:26 – Eks: Fiberkonsentrasjon i papirmaskin (X9.23 s.434)

Mandag 25.03.2019, andre time

Litteratur: Kapittel 9.5-9.6

Tema: Intern tilbakekobling og foroverkobling fra forstyrrelse

Nøkkelord: Intern tilbakekobling, Kaskaderegulering, Foroverkobling, Ideell foroverkobling

- 01:15 – Intern tilbakekobling
- 07:29 – Eks: Likestrømsmotor - intern tilbakekobling (X9.13 s.391)
- 09:36 – Kompenasasjon med intern tilbakekobling (eget notat) (X9.13)

Forelesning B

Fredag 29.03.2019, første time

Litteratur: Kapittel 9.6

Tema: Foroverkobling fra forstyrrelse

Nøkkelord: Foroverkobling, Forstyrrelse, Den ideelle foroverkobling, Foroverkoblingsgrad

- 02:27 – Foroverkobling - intuitive eksempler
- 18:26 – Foroverkobling fra forstyrrelse
- 26:39 – Ideell foroverkobling og foroverkoblingsgrad
- 36:15 – Eks: Foroverkobling i prosess med tidsforsinkelse (X9.18 s.410)

Fredag 29.03.2019, andre time

Litteratur: Kapittel 9.6

Tema: Foroverkobling fra forstyrrelse

Nøkkelord: Foroverkobling, Følgeforhold

- 00:11 – Eks: Foroverkobling i prosess med tidsforsinkelse (X9.18 s.410) - fortsettelse

Tekst-sammendrag av uke 12

Forelesningsuke 13

Forelesning A

Torsdag 12.04.2018, første time

Litteratur: Kapittel 11.1-11.2

Tema: Diskret regulering av kontinuerlige prosesser

Nøkkelord: Diskret regulering, Regulatorsyntese, Holdeelement, Syntetisk tidsforsinkelse, Sampling, Tasting, Tastetid

- 04:57 – Introduksjon av diskrete signaler og regulering (s.501)
- 11:40 – Kommentar til diskret regulering (s.501)
- 16:34 – Introduksjon til diskret regulering av kontinuerlige prosesser(s.502)
- 28:10 – Syntese av diskret regulator fra den kontinuerlige (s.505)

Torsdag 12.04.2018, andre time

Litteratur: Kapittel 11.2

Tema: Diskret regulatorsyntese

Nøkkelord: Liggesykkel, Tidsforskyvningsoperator, Diskretisering, Tastetid

- 01:28 – Eks. Dimensjonering av kont. og disk. PI-regulator (X11.5,s.506)
- 03:28 – Valg av fornuftig tastetid (s.505)
- 23:49 – Annet valg av fornuftig tastetid (s.510)
- 26:50 – Introduksjon til tidsforskyvningsoperatoren (s.510)
- 32:54 – Derivasjon/integrasjon og tidsforskyvningsoperatoren (s.511)
- 38:05 – Eks. PI-regulator vha. tidsforskyvningsoperatoren (X11.6, s.511)

Forelesning B

Fredag 13.04.2018, første time

Litteratur: Kapittel 12.5

Tema: Metning i pådragsorgan og filtre

Nøkkelord: Anti-overladning, Anti-wind up, Metning, Filter, Lavpass, Høypass, Båndpass, Båndstopp, Butterworth

- 03:12 – Repetisjon diskret regulering
- 07:37 – Introduksjon til filtre (s.513)
- 10:27 – Filtre i reguleringstekniske anvendelser (s.517)
- 14:45 – Filtersyntese (Butterworth) (s.513)
- 22:39 – Butterworth-filtre til høypassfilter
- 25:38 – Butterworth-filtre til båndpass-/båndstopppfilter
- 30:37 – Grafisk illustrasjon av filtre (s.514)
- 35:21 – Sykkelstabilitet

Fredag 13.04.2018, andre time

Litteratur: Kapittel 12.5

Tema: Metning i pådragsorgan, filtre

Nøkkelord: Båndstopp, Båndpass, Anti-overladning, Anti-wind up, Metning

- 00:39 – Pådragsmetning (s.566)
- 05:08 – Eks. PI-regulator med "anti-overladning" (X12.4, s.567)

Tekst-sammendrag av uke 13