

RE-48

1969

EN LINJÄR MATEMATISK
MODELL FÖR EN DOHPANNA
MED TVÅ ÖVERHETTARE.

Examensarbete av
BENGT LAGERLÖF

SAMMANFATTNING

Föreliggande examensarbete behandlar en dompanna med två överheltare, ångkylare och utloppsventil. En linjär matematisk modell av sjunde ordningen för detta system ställs upp och ett FORTRAN-program presenteras. Detta program beräknar de fyra matriserna A , B , C och D , som hör till systemets standardform $s(A, B, C, D)$. Examensarbetet bygger på en rapport { 1 }, där en femte ordningens modell för själva dompannan presenteras.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING.

kap.		sid.
0.	Använda beteckningar.	I
1.	Inledning	1
2.	Beskrivning av processen.	3
3.	Approximationer.	8
4.	Härledning av ekvationer	10
-1.	Första överheltaren.	10
-2.	Ångkylaren.	12
-3.	Andra överheltaren.	13
-4.	Linjäriserade ekvationer.	14
-5.	Stationära värden.	17
-6.	Sammanfattning.	19
5.	Reduktion till standardform $S(A, B, C, D)$.	24
-1.	Den dynamiska delen.	24
-2.	Utsignalerna.	26
6.	Beskrivning av programmet.	28
7.	Exempel.	31
8.	Simulering.	34
9.	Referenser	35

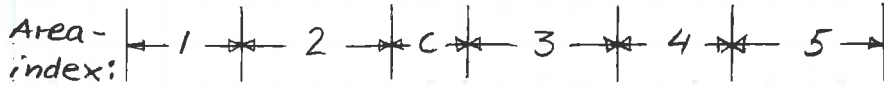
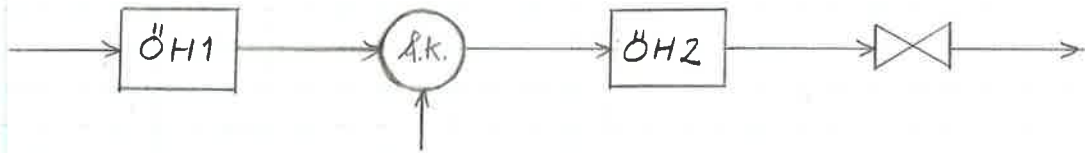
Appendix

0.

ANVÄNDA BETECKNINGAR

ÖH = överhettare

Å.K. = ångkylaren



För överhettardelen användes följande beteckningar:

Q_{gi} = värmeflöde gas-metall i ÖH i ($i = 1, 2$)

Q_{si} = värmeflöde metall-ånga i ÖH i - " -

T_{mi} = tubtemperatur i ÖH i - " -

M_i = tubernas massa i ÖH i - " -

C_{pi} = spec. värmemet hos tuberna i ÖH i - " -

C_{pc} = spec. värmemet hos ångkylaren.

M_c = massan av materialet i ångkylaren.

M_{fc} = massan av mediet i ångkylaren.

w_c = kylvattenflödet

h_c = kylvattenentalpin

h_{sc} = entalpin hos mediet i ångkylaren

T_c = materialtemperatur i ångkylaren

w_{sj} = ångflödet i area j ($j = 1, 2, \dots, 5$)

h_{sj} = ångans entalpi i area j - " -

T_{sj} = ångans temperatur i area j - " -

p_i = ångans tryck i area j - " -

M_{sj} = massan ånga i area j ($j = 1, 4$)

w_s = ångflöde från domnen

p_d = ångans tryck i domnen

h_{ss} = entalpi hos ångan från domen

P_m = mottryck efter ventil (konstant)

r_k ($k = 1, 2, \dots, 19$) är konstanter vilkas betydelse framgår vid införandet.

1

INLEDNING.

Målsättningen för detta examensarbete är att presentera ett FORTRAN-program, som beräknar de fyra matriserna A, B, C och D, vilka representerar en sjunde ordningens linjär matematisk modell för ett system bestående av en dompanna, två överhettare, en ångkylare samt en utloppsventil. Den matematiska modellen är då $\frac{dx}{dt} = Ax + Bu$;

$y = Cx + Du$, där u är systemets insignalsvektor, y är dess utsignalsvektor och x är tillståndsvektorn.

Det förtjänar att påpekas att tillståndsvariablerna har direkta fysikaliska motsvarigheter.

Ett program, hörande till en femte ordningens modell för själva dompannan finns i en rapport {1.}, dock beräknar detta endast matriserna A och B, C-matrisen är där enkel, och D-matrisen är noll. Föreliggande arbete

är en utvidgning av nyss nämnda rapport, och många hänvisningar till denna kommer att göras

I kap. 2. återfinnes en beskrivning av systemet, och i kap. 3. redogöres för de approximationer som införes. Härledning av ekvationer för överhettardelen och sammanställning med dom-ekvationerna sker i kap. 4.

I kap. 5. reduceras ekvationerna till systemets standardform $S(A, B, C, D)$. En beskrivning av programmet återfinnes i kap. 6. I kap. 7. redovisas ett exempel, och i kap. 8. har detta exempel simulerats på analogmaskin. Kap. 9 innehåller referenser, och slutligen finnes ett Appendix, där programmet finns listat, och dess indata redovisas samt resultaten från simuleringen.

Den mättade ångan strömmar ut mot första överhettaren, där värmemängden Q_{g1} tillföres. Efter första överhettaren är således ångan i överhettat tillstånd, vilket medför att två tillståndstorheter hos ångan måste vara kända för att de övriga skall kunna bestämmas.

Ångkylarens uppgift är att över en viss last kyla ångan, så att inte för höga temperaturer uppnås efter andra överhettaren. Kylvatten strömmar in och blandar sig med den överhettade ångan, varvid vattnet förångas, och ångan efter ångkylaren är mindre överhettad än före.

I andra överhettaren tillföres värmemängden Q_{g2} , så att ångan blir ytterligare något överhettad.

Med ventilen regleras det utgående flödet, och ett konstant mottryck råder på andra sidan om den.

Processens insignaler är:

Värme flöde till stig tuber	Q_g
Matarvattenflöde	w_{fw}
Ventilläge	A

Värmefföde till första överhettaren	Q_{g1}
Värmefföde till andra överhettaren	Q_{g2}
Kylvattenfföde	w_c
Kylvattenentalpi	h_c

Vi har således sju insig-
naler.

Observera att värmeffödet till stigtuberna (Q_g) och inte bränsleffödet har valts till insignal. Om bränslet är olja kan sambandet mellan oljeflöde och Q_g betraktas som statistiskt. För att möjliggöra anpassning av modellen till pannor med olika överhettarkarakteristik har även värmeffödena Q_{g1} och Q_{g2} valts till insignaler

Matarvattenffödet har valts till insignal, men inte matarvattenentalpin, vilken antagits konstant.

A är lika med ventilläget så när som på en konstant.

Processens utsignaler är:

Domtryck	p_d
Domnivå	y
Utloppsfföde	w_{s5}
Utloppstemp	T_{s5}

Tryck före ventil	P_5
Temp före ångkylaren	T_{s2}
Temp efter ångkylaren	T_{s3}

Således även 7 utsignaler. Av Dessa är de fyra första de väsentligaste, och de andra tre mellandata av mindre betydelse

Processen fram till utloppet från domen har behandlats i { 1 } och detta examensarbete behandlar delen fram. inloppet till första "överhettaren t.o.m. utloppet efter ventilen. För denna del skall vi således ställa upp ekvationer, vilka linjäriseras och kombineras med ekvationerna för första delen till ett ekvationssystem som beskriver hela processen. Detta ekvationssystem reduceras så att vi får systemet på formen $\dot{x} = Ax + Bu$; $y = Cx + Du$, d.v.s. systemets standardform $S(A, B, C, D)$. A , B , C och D är matriser, som här alla har ordningen 7×7

Det förtjänar även här påpekas att den verkliga processen är betydligt mer komplicerad än vad figuren ovan visar. Vi har t.ex. bundit oss vid en viss fix mycket förenklad geometri.

I kap 3 redogörs närmare för de approximationer som in förs.

3

APPROXIMATIONER.

I överhettarna till förs värmet över hela värmeytan. Denna värmeförsörjning sker inte likformigt. Trycket i överhettartuberna faller kontinuerligt men inte linjärt.

Detta medför att ångans densitet, entalpi och temperatur varierar enligt olinjära samband.

Eftersom vi således har variabler som inte bara beror av tiden, utan även av rumskoordinaterna får vi partiella differentialekvationer.

Vi approximerar de partiella differentialekvationerna med ordinära sådana. Detta kan göras genom att man delar upp överhettaren i sektioner och i varje sektion arbetar med medelvärden av de aktuella variablerna. T.ex. antas att värmeöverföringen sker med en viss tubtemp, ångtemp, entalpi osv, samt att tryckfallet är koncentrerat till

en strypning placerad omedelbart efter den aktuella sektionen.

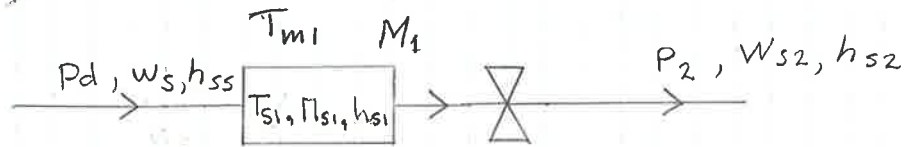
Ju fler sektioner man approximerar med, desto större noggrannhet får man, men samtidigt högre ordningstal på systemet. Här har vi för att hålla ordningstalet nere approximerat varje överhettare med en sektion. De två överhettarna kan då i princip även ses som en överhettare approximerad med två sektioner.

Vid överslagsberäkningar på tidskonstanter finner man att tidskonstanten för värmeackumuleringen i tubväggen är någon eller några tiopotenser större än övriga tidskonstanter, varför tidsderivator av andra storheter än tubtemp kan approximeras med noll. Detta innebär fysikaliskt att man försummar ångans kompressibilitet och värmeackumuleringsförmåga.

4. HÄRLEDNING AV EKVATIONER.

4.1 Första överhettaren.

Överhettarens approximerade konfiguration ser alltså ut enl. fig.



En värmebalans ger:

Inströmmat värme + Tillfört värme =
 = utströmmat värme + ändr. i värmeinnehåll
 eller med beteckningar:

$$(1) \quad w_s \cdot h_{ss} + Q_{s1} = w_{s2} \cdot h_{s2} + M_{s1} \cdot \frac{d}{dt} h_{s1}$$

$\frac{d}{dt} h_{s1}$ sättes således här noll.

En massbalans ger:

Inflöde = utflöde + ändring i massinnehåll
 eller:

$$(2) \quad w_s = w_{s2} + \frac{d}{dt} M_{s1}$$

$\frac{d}{dt} M_{s1}$ sättes således lika med noll.

Moment balans över strypningen ger:

$$(3) \quad P_d - P_2 = r_1 \cdot w_{s2}^2 + r_1' \cdot \frac{d}{dt} w_{s2} \quad (r_1 \text{ o. } r_1' \text{ konst.})$$

Här sättes $\frac{d}{dt} w_{s2}$ lika med noll.

En värmebalans över tubväggen

ger:

Värme från rökgasen till ytterväggen =
 = värme från innerväggen till ångan +
 + ändring i värmeinnehåll i tubväggen

eller:

$$(4) \quad Q_{g1} = Q_{s1} + M_1 c_{p1} \frac{d}{dt} T_{m1}$$

Det är således denna derivata som ej försummas

För det från innerväggen till ångan överförda värmets gäller enl. { 1 }

$$(5) \quad Q_{s1} = r_4 \cdot W_{s1}^{0.8} (T_{m1} - T_{s1}) \quad (r_4 \text{ konst})$$

Som ett värde på ångtemp i överhettaren toges medelvärde av temp före och efter överhettaren:

$$(6) \quad T_{s1} = \frac{1}{2} \cdot (T_5 + T_{s2})$$

För ångans temp, entalpi o tryck gäller i mättat tillstånd att man endast behöver känna en av storheterna för att bestämma de övriga. I överhettat tillstånd måste man känna två för att få den tredje storheten. Siffervärden kan erhållas ur Ångtabeller.

Vi kan således sätta upp följande samband. (I inloppet till första överhettaren är tillståndet mättat):

$$(7) \quad T_5 = f_{T5}(P_d)$$

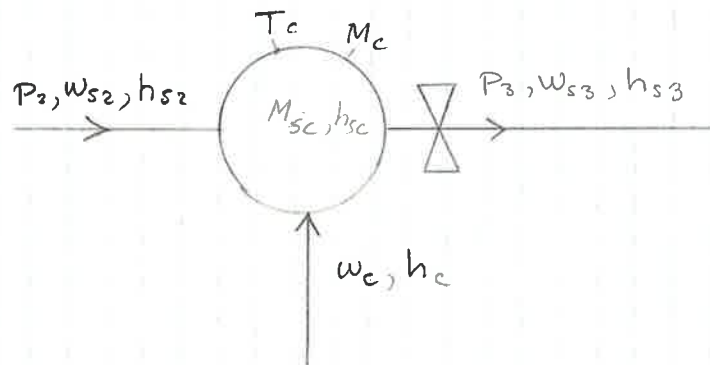
$$(8) \quad h_{s5} = f_{h5}(P_d)$$

$$(9) \quad T_{s2} = f_{T_{s2}}(h_{s2}, P_2)$$

4.2

Ångkylaren.

Ångkylarens konfiguration visas i nedanstående fig



Värmebalans ger:

Inströmmat värme med ångan +
+ Inströmmat värme med kylvatten =
= Utströmmat värme + ändring i
värmeinnehåll i material och medium
i ångkylaren

eller:

$$(10) \quad w_{s2} \cdot h_{s2} + w_c \cdot h_c = w_{s3} \cdot h_{s3} + \frac{d}{dt} (M_c \cdot c_{pc} \cdot T_c + M_{fc} \cdot h_{sc})$$

Här approximeras derivatan med noll.

Massbalans ger:

Inflöde ånga + Inflöde kylvatten =
= Utflöde ånga + Ändring i massinnehåll

eller:

$$(11) \quad w_{s2} + w_c = w_{s3} + \frac{d}{dt} M_{fc}$$

Derivatan approximeras med noll

Momentbalans ger:

$$(12) \quad p_2 - p_3 = r_2 \cdot w_{s3}^2 + r_2' \cdot \frac{d}{dt} w_{s3} \quad (r_2 \text{ or } r_2' \text{ konst})$$

Derivatan sättes lika med noll.

4.3

Andra överhettaren.

Helt analogt med första överhettaren fås, om de derivator som approximeras med noll ej medtages:

$$(13) \quad w_{s3} \cdot h_{s3} + Q_{s2} = w_{s5} \cdot h_{s5}$$

$$(14) \quad w_{s3} = w_{s5}$$

$$(15) \quad p_3 - p_5 = r_3 \cdot w_{s5}^2 \quad (r_3 \text{ konst})$$

$$(16) \quad Q_{g2} = Q_{s2} + M_2 \cdot c_{p2} \cdot \frac{d}{dt} T_{m2}$$

$$(17) \quad Q_{s2} = r_5 \cdot w_{s4}^{0.8} \cdot (T_{m2} - T_{s4}) \quad (r_5 \text{ konst})$$

$$(18) \quad T_{s4} = \frac{1}{2} \cdot (T_{s3} + T_{s5})$$

$$(19) \quad T_{s3} = f_{T_{s3}}(h_{s3}, p_3)$$

$$(20) \quad h_{s5} = f_{h_{s5}}(T_{s5}, p_5)$$

Tryckfallet över ventilen efter andra överhettaren antages direkt proportionellt mot kvadraten på massflödet.

Detta ger:

$$(21) \quad w_{s5}^2 = A(p_5 - p_m) \quad (A \text{ konst})$$

p_m är alltså mottrycket efter ventilen, vilket antas konstant.

4.4.

Linjäriserade ekvationer.

De ekvationer som ställts upp i 4.1 - 4.3 skall nu linjäriseras.

Linjäriseringen av de termiska tillståndsekv. (ekv (7) - (9), (19) o. (20)) görs på följande sätt:

I ångtabeller söker man upp den stationära punkten. Man varierar omkring denna punkt de två storheter (i mättat tillstånd bara en) som den tredje beror av, var för sig, och ser hur den tredje ändras. På så sätt får man fram de konstanter som erfordras i den linjäriserade ekv.

Vi är i princip bara intresserade av avvikelser från de stationära värdena. Vi låter därför i det följande index o beteckna stationära värden, och övriga variabler är avvikelser från dessa.

I samband med linjäriseringen substitueras $w_{s1} = w_{s2} = \underline{w_s}$ och

$$w_{s3} = w_{s4} = \underline{w_{s5}}$$

Vi får då följande 19 ekv.

(De införda konstanterna åter-

finnes i Appendix):

$$(22) \quad w_{s0}(h_{s5} - h_{s2}) + w_s(h_{s50} - h_{s20}) + Q_{s1} = 0$$

$$(23) \quad p_d - p_2 = 2 r_1 \cdot w_{s0} \cdot w_s$$

$$(24) \quad Q_{g1} = Q_{s1} + M_1 \cdot c_{p1} \cdot \frac{d}{dt} T_{m1}$$

$$(25) \quad Q_{s1} = r_6 \cdot w_s + r_7 (T_{m1} - T_{s1})$$

$$(26) \quad T_{s1} = 0.5 \cdot (T_s + T_{s2})$$

$$(27) \quad T_s = r_{10} \cdot p_d$$

$$(28) \quad T_{s2} = r_{11} \cdot h_{s2} + r_{12} \cdot p_2$$

$$(29) \quad h_{s5} = r_{15} \cdot p_d$$

$$(30) \quad w_{s0} \cdot h_{s2} + w_s \cdot h_{s20} + w_{c0} \cdot h_c + w_c \cdot h_{c0} = \\ = w_{s50} \cdot h_{s3} + w_{s5} \cdot h_{s30}$$

$$(31) \quad w_s + w_c = w_{s5}$$

$$(32) \quad p_2 - p_3 = 2 r_2 \cdot w_{s50} \cdot w_{s5}$$

$$(33) \quad w_{s50} \cdot (h_{s3} - h_{s5}) + w_{s5} \cdot (h_{s30} - h_{s50}) + Q_{s2} = 0$$

$$(34) \quad p_3 - p_5 = 2 r_3 \cdot w_{s50} \cdot w_{s5}$$

$$(35) \quad Q_{g2} = Q_{s2} + M_2 \cdot c_{p2} \cdot \frac{d}{dt} T_{m2}$$

$$(36) \quad Q_{s2} = r_8 \cdot w_{s5} + r_9 \cdot (T_{m2} - T_{s4})$$

$$(37) \quad T_{s4} = 0.5 \cdot (T_{s3} + T_{s5})$$

$$(38) \quad T_{s3} = r_{13} \cdot h_{s3} + r_{14} \cdot p_3$$

$$(39) \quad h_{s5} = r_{16} \cdot T_{s5} + r_{17} \cdot p_5$$

$$(40) \quad w_{s5} = r_{18} \cdot A + r_{19} \cdot p_5$$

Ur detta ekv.system eliminerar vi direkt Q_{s1} , Q_{s2} , h_{s5} , h_{s5} , w_s , w_{s5} , p_2 , p_3 , T_s , T_{s1} , T_{s2} , T_{s3} samt T_{s4} .

Vi får då sex ekvationer kvar, och om ekvationssystemet skrives i

matrisform, $A_i t_i = Q$, där t_i är kolonnvektorn: $(\dot{T}_{m1}, \dot{T}_{m2}, P_d, T_{m1}, T_{m2}, A, Q_{g1}, Q_{g2}, w_c, h_c, T_{s5}, P_5, h_{s2}, h_{s3})^T$, så får matrisen A_i följande utseende (koefficienterna a_{51} t.o.m. a_{86} finnes i Appendix)

$A_i =$

\dot{T}_{m1}	\dot{T}_{m2}	P_d	T_{m1}	T_{m2}	A	Q_{g1}	Q_{g2}	w_c	h_c	T_{s5}	P_5	h_{s2}	h_{s3}
		a_{51}	a_{52}		a_{53}			a_{54}			a_{55}	a_{56}	
				a_{57}	a_{58}					a_{59}	a_{60}		a_{61}
					a_{62}			a_{63}	a_{64}		a_{65}	a_{66}	a_{67}
		a_{68}			a_{69}			a_{70}			a_{71}		
a_{72}		a_{73}	a_{74}		a_{75}	a_{76}		a_{77}			a_{78}	a_{79}	
	a_{80}			a_{81}	a_{82}		a_{83}			a_{84}	a_{85}		a_{86}

4.5.

Stationära värden

Ur den aktuella pannans driftsdata fås stationära värden på följande variabler:

Domtrycket o. mättnadstemp.	P_{d0}, T_{s0}
Trycket efter ÖH 1	P_{20}
- " - - " - ångkylaren	P_{30}
- " - - " - ÖH 2	P_{50}
Kylvattenflödet	w_{c0}
Tabtemp. i överhettarna	T_{m10}, T_{m20}
Temp efter ÖH 1	T_{s20}
- " - - " - ångkylaren	T_{s30}
Utloppstemp	T_{s50}
Kylvattenentalpin	h_{c0}
Värmemängder till överhettarna	Q_{g10}, Q_{g20}

T_{m1} och T_{m2} får tas som någon form av medelvärden.

Dessutom vet man följande konstanter:

Mottrycket efter ventilen	P_m
Järnmassorna i överhettarna	M_1, M_2
Specifika värmekapacitet i - " -	C_{p1}, C_{p2}

Ur ångtabeller beräknar man värden på konstanterna r_{10} t.o.m. r_{17}

Ångflödet från domen, w_s , beräknas i programmet m.h.a. de indata som angivits i {1}

Med hjälp av ovanstående data och vissa av de givna ekv. beräknas i programmet övriga stationära värden och konstanter:

- (11) ger w_{s50} ($= w_{s30}$)
- (6) " T_{s10}
- (18) " T_{s40}
- (1) " h_{s20} (h_s har ber. ur ångtab)
- (10) " h_{s30}
- (13) " h_{s50}
- (3) " r_1
- (12) " r_2
- (15) " r_3
- (5) " r_4
- (17) " r_5

r_4 o. r_5 är värden på värmeövergångstalen vid överhettartuberna.

De beräknas ej explicit i programmet, men ingår i r_6 t.o.m. r_9 , vilka beräknas (se förteckning över konstanter i Appendix)

Därmed känner vi alla stationära värden, som enligt Appendix ingår i matrisens A element.

4.6

Sammanfattning

Vi har nu ställt upp ekvationer som beskriver de två överhettarna, ångkylaren och ventilen. I { 1 } finns ett ekvationssystem som beskriver processens andra del, själva dompannan. Vi har således ekvationer som beskriver hela processen. I { 1 } har införts storheterna:

$x_1 = P_d$	domtrycket
$x_2 = y$	domnivån
$x_3 = T_w$	domvattentemp.
$x_4 = T_r$	temp i stigtuber
$x_5 = x_m$	medelv. på ångkval. i stigtuber

$u_1 = Q_g$	Värmeflöde till stigtuber
$u_2 = w_{fw}$	matarvattenflöde
$u_3 = w_s$	ångflöde från dom

$v_1 = w_o$	flöde ur stigtuber
$v_2 = w_w$	flöde i falltuber
$v_3 = w_e$	flöde mln vatten- o. ångfas
$v_4 = Q_r$	värmeflöde från stigtuber till vatten-ångblandning i stigtuber.

Eliminera w_s m.h.a. ekv. (31) o (40)

Inför de nya storheterna.

$x_6 = T_{m1}$	tubtemp i ÖH 1
$x_7 = T_{m2}$	- " - ÖH 2
$u_3 = A$	ventilläge
$u_4 = Q_{g1}$	värmefflöde till ÖH 1
$u_5 = Q_{g2}$	- " - ÖH 2
$u_6 = w_c$	kylvattenflöde
$u_7 = h_c$	kylvattenentalpi
$v_5 = T_{s5}$	utloppstemperatur
$v_6 = p_5$	tryck före ventil
$v_7 = h_{s2}$	entalpi efter ÖH 1
$v_8 = h_{s3}$	entalpi före ÖH 2

Sätt t = kolonnvektorn:

$$t = (\dot{x}_1, \dot{x}_2, \dots, \dot{x}_7, x_1, x_2, \dots, x_7, u_1, u_2, \dots, u_7, v_1, v_2, \dots, v_8)^T$$

Då beskrives den dynamiska delen av hela processen av $AA \cdot t = 0$, där AA är matrisen på följande sida. Koefficienterna a_i , tom. a86 återfinnes i Appendix. Märk att uttrycket för a_{43} ej är samma som i $\{1\}$ samt att a_{49} och a_{50} tillkommit p.g.a. w_3 eliminerats.

Denna matris skall således reduceras så att vi får två matriser A och B , sådana att $\dot{x} = Ax + Bu$.

Denna reduktion sker i kap 5.

Inför nu utsignalerna:

$y_1 = P_d$	domtrycket
$y_2 = y$	domnivån
$y_3 = w_{55}$	utloppsflödet
$y_4 = T_{55}$	utloppstemp
$y_5 = p_5$	tryck före ventil
$y_6 = T_{52}$	temp efter ÖH1
$y_7 = T_{53}$	temp före ÖH2

Vi ser direkt att

$$(41) \quad y_1 - x_1 = 0$$

$$(42) \quad y_2 - x_2 = 0$$

Ekv (28) o (31) insatt i (23) ger:

$$(43) \quad \Gamma_{12} \cdot x_1 + 2\Gamma_1 \Gamma_{12} w_{50} \cdot u_6 - 2\Gamma_1 \Gamma_{12} w_{50} \cdot y_3 - y_6 + \Gamma_{11} \cdot v_7 = 0$$

Ekv. (31) o (38) insatt i (34) ger:

$$(44) \quad 2\Gamma_3 \Gamma_{14} w_{550} \cdot y_3 + \Gamma_{14} y_5 - y_7 + \Gamma_{13} \cdot v_8 = 0$$

Ekv (40) ger:

$$(45) \quad y_3 - \Gamma_{18} \cdot u_3 - \Gamma_{19} \cdot y_5 = 0$$

Raderna 10 t.o.m. 13 i matrisen AA

ger (i ordningen 10, 13, 12, 11):

$$(46) \quad a_{51} x_1 + a_{52} x_6 + a_{53} y_3 + a_{54} u_6 + a_{55} y_5 + a_{56} v_7 = 0$$

$$(47) \quad a_{68} x_1 + a_{69} u_3 + a_{70} u_6 + a_{71} y_5 = 0$$

$$(48) \quad a_{62} u_3 + a_{63} u_6 + a_{64} u_7 + a_{65} y_5 + a_{66} v_7 + a_{67} v_8 = 0$$

$$(49) \quad a_{57} x_7 + a_{58} u_3 + a_{59} y_4 + a_{60} y_5 + a_{61} v_8 = 0$$

Sätt $z = (y_1, y_2, \dots, y_7, x_1, x_2, x_6, x_7, u_3, u_6, u_7, v_7, v_8)^T$

Då kan ekv. (41) - (49) skrivas

$Q \cdot z = 0$, där Q är följande matris:

$Q =$

	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	x_1	x_2	x_6	x_7	u_3	u_6	u_7	v_7	v_8
1								-1								
	1								-1							
		$-q_1$				-1		r_{12}					q_3		r_{11}	
		q_3		r_{14}			-1									r_{13}
		1		r_{19}									$-r_{18}$			
				a_{55}				a_{51}	a_{52}			a_{53}	a_{54}		a_{56}	
				a_{71}				a_{68}				a_{69}	a_{70}			
				a_{65}								a_{62}	a_{63}	a_{64}	a_{66}	a_{67}
			a_{59}	a_{60}							a_{57}	a_{58}				a_{61}

Här är $q_1 = 2 r_1 r_{12} w_{50}$

och $q_3 = 2 r_3 r_{14} w_{550}$

Vi har således ekvationerna för utsignalerna på samma form som ekvationerna för den dynamiska delen. Q skall reduceras så att vi får de två matriser C och D , som beskriver utsignalerna under formen $y = Cx + Du$.

Denna reduktion sker i kap 5.

5. REDUKTION TILL STANDARD- FORM $S(A, B, C, D)$

5.1. Den dynamiska delen

Enl. 4.6. är den dynamiska delen beskriven av $AA \cdot t = 0$, där AA är en 15×29 -matris och t en 29 -kolonnvektor. t innehåller bl.a. tillståndsvektorn $x = (x_1, x_2, \dots, x_7)$, dess derivata \dot{x} och signalsvektorn $u = (u_1, u_2, \dots, u_7)$

Problemet är att reducera AA till de två matriser A och B , som är sådana att $\dot{x} = A \cdot x + B \cdot u$ (A och B är här båda 7×7 -matriser)

Detta problem kan här lösas på följande sätt:

Partitionera:

$$AA \cdot t = \left[\begin{array}{c|c|c} AA_{11} & AA_{12} & AA_{13} \\ \hline AA_{21} & AA_{22} & AA_{23} \end{array} \right] \cdot \begin{bmatrix} \dot{x} \\ x \\ u \\ v \end{bmatrix} = 0$$

Partitioneringen av AA framgår av sid 21, och delmatrisernas ordningar är:

$$AA_{11} : 7 \times 7 ; AA_{12} : 7 \times 14 ; AA_{13} : 7 \times 8$$

$$AA_{21} : 8 \times 7 ; AA_{22} : 8 \times 14 ; AA_{23} : 8 \times 8$$

Vi får nu:

$$\begin{cases} AA_{11} \cdot \dot{x} + AA_{12} \begin{bmatrix} x \\ u \end{bmatrix} + AA_{13} \cdot v = 0 & (a) \\ AA_{21} \cdot \dot{x} + AA_{22} \begin{bmatrix} x \\ u \end{bmatrix} + AA_{23} \cdot v = 0 & (b) \end{cases}$$

Om AA_{23}^{-1} existerar får vi ur (b):

$$v = -AA_{23}^{-1} \cdot AA_{21} \cdot \dot{x} - AA_{23}^{-1} \cdot AA_{22} \begin{bmatrix} x \\ u \end{bmatrix}$$

Detta insatt i (a) ger:

$$(AA_{11} - AA_{13} \cdot AA_{23}^{-1} \cdot AA_{21}) \cdot \dot{x} + (AA_{12} - AA_{13} \cdot AA_{23}^{-1} \cdot AA_{22}) \begin{bmatrix} x \\ u \end{bmatrix} = 0$$

$$\text{Sätt } E = AA_{11} - AA_{13} \cdot AA_{23}^{-1} \cdot AA_{21}$$

$$\text{och } F = AA_{12} - AA_{13} \cdot AA_{23}^{-1} \cdot AA_{22}$$

Då har vi således:

$$E \cdot \dot{x} + F \cdot \begin{bmatrix} x \\ u \end{bmatrix} = 0$$

Om E^{-1} existerar får vi

$$\dot{x} = -E^{-1} \cdot F \cdot \begin{bmatrix} x \\ u \end{bmatrix}$$

Detta kan skrivas

$$\dot{x} = [A | B] \cdot \begin{bmatrix} x \\ u \end{bmatrix} \quad \text{eller}$$

$$\dot{x} = A \cdot x + B \cdot u$$

För att detta skall gälla har vi således kravet att två matriser skall ha inverser.

Se {1}

5.2.

Utsignalerna.

Enl. 4.6. beskrives utsignalerna av $Q \cdot z = 0$ där Q är en 9×16 -matris och z är en 16-kolonnvektor. Egentligen skall Q ha 23 kolonner, och z ha 23 element, men eftersom kolonnerna för x_3, x_4, x_5 och u_1, u_2, u_4, u_5 består av bara nollor, har dessa utelämnats.

Problemet är att reducera Q , så att vi får $y = C \cdot x + D \cdot u$. Detta problem är helt analogt med problemet i 5.1, och löses på samma sätt.

Om inverserna existerar får vi således

$$y = -(Q_{11} - Q_{13} Q_{23}^{-1} Q_{21})^{-1} \cdot (Q_{12} - Q_{13} Q_{23}^{-1} Q_{22}) \begin{bmatrix} x \\ u \end{bmatrix}$$

eller $y = -E_1^{-1} \cdot F_1 \begin{bmatrix} x \\ u \end{bmatrix}$ eller

$$y = [C \mid D] \begin{bmatrix} x \\ u \end{bmatrix}$$

d.v.s. det önskade sambandet

$$y = C \cdot x + D \cdot u$$

Delmatrisernas ordningar:

$$Q_{11}: 7 \times 7 \quad ; \quad Q_{12}: 7 \times 7 \quad Q_{13}: 7 \times 2$$

$$Q_{21}: 2 \times 7 \quad Q_{22}: 2 \times 7 \quad Q_{23}: 2 \times 2$$

Vi kan i uttrycket för Q (sid 23)

direkt se att Q_{23}^{-1} existerar om a_{61} och a_{66} båda är $\neq 0$.
 C är nu en 4×7 -matris och D en 3×7 -matris.

För att få dem fullständiga (båda 7×7) skall vi således sätta in tre kolonner (3:e, 4:e och 5:e kolonnen) med nollor i C och 4 kolonner (1:a, 2:a, 4:e och 5:e kolonnen) med nollor i D .

6. BESKRIVNING AV PROGRAMMET.

Programmet kallas DRSH7M (DRum with SuperHeaters 7ith order-Model) och är skrivet i FORTRAN. Det är en utvidgning av DR5M. (Se { 1 })

Programmet beräknar de fyra matriserna A, B, C och D samt matrisens A egenvärden. Indata till programmet återfinnes i Appendix.

Programmet använder subrutinerna POLRT, MIART, HHOLDER, QRHESSC, EGENV22 och CZEKV.

POLRT beräknar rötter till polynom. MIART beräknar rang och invers till matriser samt löser linjära ekvationer.

HHOLDER transformerar matriser till övre Hessenberg form.

QRHESSC använder EGENV22 och ger egenvärdena till en komplex matris på övre Hessenberg form.

EGENV22 använder CZEKV och är en speciell subrutin för QRHESSC. CZEKV löser den komplexa andra-gradsekvationen $x^2 - Px + Q = 0$

Programmet finns listat i Appendix,

och här skall endast redogöras för huvuddragen.

Koefficienterna i polynomet för medelångkvaliteten beräknas enl { 1 }, och medelångkvaliteten bestäms m.h.a. POLRT. En kontroll är inlagd så att exekveringen avbryts om ingen eller fler än en positiv rot erhålles.

Matrisen AA beräknas

Matrisen Q beräknas.

En inverterbar submatris AA_{23} letas upp, dess invers beräknas och AA partitioneras. Om ingen sådan submatris AA_{23} finnes avbryts exekveringen.

E och F beräknas.

Ekvationen $Ex + F = 0$ löses. Om ekvationen saknar lösning avbrytes exekveringen.

A och B beräknas och skrives ut.

A 's egenvärden beräknas och skrives ut. Om denna beräkning misslyckas avbrytes exekveringen.

Q partitioneras.

Q_{23}^{-1} beräknas.

E_1 och F_1 beräknas.

Ekvationen $E_1 \cdot x + F_1 = 0$ löses. Om ekvationen saknar lösning avbrytes exekveringen.

C och D beräknas och skrivs ut.

Vid varje tillfälle som exekveringen avbrytes sker utskrift om orsaken.

Ingångsdata skrivs naturligtvis också ut. Dessutom sker utskrift av vissa mellanresultat, t.ex. matriserna AA och Q .

7.

EXEMPEL

Som exempel har tagits en av de två ångpannorna i en 210.000-tonns oljetanker, vilken sjösattes av Kockums sommaren 1969. Denna pannas konfiguration avviker från den här presenterade modellens så till vida att ångkylningen inte tillgår så att man sprutar in vatten i ångkylaren, utan i stället leder man en del av ångan efter första överhettaren i en slinga genom samlingslådan och tillbaka till andra överhettaren. För att anpassa denna panna till modellen får man därför beräkna hur mycket kylvatten av en viss temperatur som skall sprutas in för att få samma temperatur på ångan i inloppet till andra överhettaren, som man har i det verkliga fallet.

Erforderliga data har välvilligt ställts till förfogande av Kockums Mek. Verkstads AB, och beräkningarna har utförts för normala driftsfallet.

Vissa av programmets ingångsdata är rena konstruktionsdata, t.ex. järnmassorna, järnets spec. värme, tublängder, och tubdiametrar. För att få dessa data behöver således endast triviala beräkningar eller inga alls utföras.

Andra indata, såsom ångflödet ut, tubtemperaturer och ångtemperaturer, kan närmast karakteriseras som driftsdata, och behöver inte heller beräknas.

För att erhålla resterande ingångsdata måste vissa beräkningar göras. Dessa beräkningar utföres m.h.a. de tidigare uppställda ekvationerna - även domekvationerna enl { 1 } - och ångtabeller.

PK_1 , PK_2 , PK_3 , PK_9 , C_1 och C_2 är linjäriseringskonstanter och beräknas ur ångtabeller. Se närmare { 1 }.

Ur ekv. (28), (38) o (39) erhålles

R_{11} o R_{12} , R_{13} o R_{14} samt R_{16} o R_{17}

$$\text{enl } R_{11} = \left(\frac{\Delta TS_2}{\Delta HS_2} \right)_{\Delta P_2=0} \quad \text{o} \quad R_{12} = \left(\frac{\Delta TS_2}{\Delta P_2} \right)_{\Delta HS_2=0}$$

och motsvarande. Ur (27) o (29)

$$\text{erhålles } R_{10} = \left(\frac{\Delta TS}{\Delta PD} \right) \quad \text{o} \quad R_{15} = \left(\frac{\Delta HS}{\Delta PD} \right).$$

De tillförda värmeflödena Q_{S1} o Q_{S2} erhålles ur (1) o (2) samt (13) o (14).

Vid beräkningen av kylvattenflödet har antagits att dess entalpi är samma som matarvattnets, och WC erhålles då ur (10)

Numeriska värden på ingångsdata framgår av programutskriften, vilken återfinnes i Appendix.

Programmet har även körts med olika variationer i överhettarnas järnmassor, för att utvärdera vilken effekt dessa har på systemet.

Resultaten återfinnes i Appendix.

Endast ingångsdata för första fallet finns i Appendix, för de övriga fallen är de desamma utom beträffande 'MASS OF SUPERHEATERS', där följande gäller för resp fall:

Fall	1	6163.0	937.0
	2	- " -	468.5
	3	- " -	1874.0
	4	3081.5	937.0
	5	- " -	468.5
	6	- " -	1874.0
	7	12326.0	468.5
	8	- " -	1874.0

8.

SIMULERING.

Med hjälp av matriserna A , B , C och D som programmet har beräknat kan vi nu lätt simulera systemet på en analogi-maskin. På så sätt kan man studera hur systemets tillståndsvariabler och utsignaler reagerar för steg i de olika insignalerna. Detta har gjorts för normalfallet enligt kap 7. I Appendix återfinnes kopplings-schema och kurvor över stegsvar

För vissa stegsvar har förstörade kurvor för begynnelselöppet upptagits.

9.

REFERERENSER.

1. K. Eklund: "Linear mathematical models of the drum-downcomer-riser loop of a drum boiler." Rapport 6809 LTH.
2. K. Eklund: "En olinjär matematisk modell för en dompanna", Rapport 6801 LTH
3. Enns M.: "Comparison of Dynamic Models of a Superheater" ASME Journal of Heat Transfer, nov-62
4. H. Thal-Larsen: "Dynamics of Heat Exchangers and their Models." ASME Journal of Basic Engineering, June-60
5. "VDI-Wasserdampftafeln" Springer-Verlag, Berlin 1963
6. K. J. Åström: "Regler teknik", kompendium, TLTH, Lund 1967
7. S. Kallin: "Lärobok i FORTRAN", Studentlitteratur, Lund 1967

APPENDIX.

Koefficienterna a_{43} samt a_{49}
t.o.m. a_{66} i matrisen AA .

Beträffande koefficienterna a_1 t.o.m. a_{42} och a_{44} t.o.m. a_{48} hänvisas till { 1. }.

$$\begin{aligned}
 a_{43} &= r_{18} / (V_s \cdot k_d) \\
 a_{49} &= -a_{43} / r_{18} \\
 a_{50} &= -r_{19} \cdot a_{49} \\
 a_{51} &= r_{15} \cdot w_{50} - 0.5 r_7 (r_{10} + r_{12}) \\
 a_{52} &= r_7 \\
 a_{53} &= r_{18} (h_{550} - h_{520} + r_6 + r_1 r_7 r_{12} w_{50}) \\
 a_{54} &= -a_{53} / r_{18} \\
 a_{55} &= -r_{19} \cdot a_{54} \\
 a_{56} &= -w_{50} - 0.5 r_7 \cdot r_{11} \\
 a_{57} &= r_9 \\
 a_{58} &= r_{18} (h_{530} - h_{550} + r_8 - r_3 r_9 r_{14} \cdot w_{550}) \\
 a_{59} &= -r_{16} \cdot w_{550} - 0.5 r_9 \\
 a_{60} &= r_{19} \cdot a_{58} / r_{18} - r_{17} w_{550} - 0.5 r_9 r_{14} \\
 a_{61} &= w_{550} - 0.5 r_9 r_{13} \\
 a_{62} &= r_{18} (h_{520} - h_{530}) \\
 a_{63} &= h_{c0} - h_{520} \\
 a_{64} &= w_{c0} \\
 a_{65} &= r_{19} (h_{520} - h_{530}) \\
 a_{66} &= w_{50} \\
 a_{67} &= -w_{550} \\
 a_{68} &= -1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a_{69} &= 2 \Gamma_{18} (\Gamma_2 + \Gamma_3) W_{50} + \Gamma_1 W_{50} \\
a_{70} &= -2 \Gamma_1 W_{50} \\
a_{71} &= 1 + \Gamma_{19} \cdot a_{69} / \Gamma_{18} \\
a_{72} &= M_1 \cdot C_{P1} \\
a_{73} &= -0.5 \Gamma_7 (\Gamma_{10} + \Gamma_{12}) \\
a_{74} &= \Gamma_7 \\
a_{75} &= \Gamma_{18} (\Gamma_6 + \Gamma_1 \Gamma_7 \Gamma_{12} \cdot W_{50}) \\
a_{76} &= -1 \\
a_{77} &= -a_{75} / \Gamma_{18} \\
a_{78} &= -\Gamma_{19} \cdot a_{77} \\
a_{79} &= -0.5 \Gamma_7 \Gamma_{11} \\
a_{80} &= M_2 C_{P2} \\
a_{81} &= \Gamma_9 \\
a_{82} &= \Gamma_{18} (\Gamma_8 - \Gamma_3 \Gamma_9 \Gamma_{14} \cdot W_{50}) \\
a_{83} &= -1 \\
a_{84} &= -0.5 \Gamma_9 \\
a_{85} &= \Gamma_{19} \cdot a_{82} / \Gamma_{18} - 0.5 \Gamma_9 \Gamma_{14} \\
a_{86} &= -0.5 \Gamma_9 \Gamma_{13}
\end{aligned}$$

APPENDIXProgrammets ingångsdata.

I de flesta fall överensstämmer beteckningarna i programmet med dem som användes i ekvationerna, dock naturligtvis med den skillnaden att de i programmet skrives med bara stora bokstäver, och på en rad, t.ex. Q_{S1} motsvarar Q_{s1} . I vissa fall, där FORTRAN's konstruktion gör att variablerna skulle behandlas som heltal, har ett A satts framför, t.ex. AM_1 motsvarar M_1 . I övriga fall, där större skillnad föreligger, sättes nedan ekvationsbeteckningen inom parentes efter programvariabeln.

Indata i den ordning de inläses i programmet är:

FD	= energi förlustkoefficient i fallrör.
ALD	= totala tublängden för fallrör.
ALD1	= fallhöjden.
AD	= total flödesarea i fallrör.
DD	= total diameter i fallrör.
FR	= energi förlustkoefficient i stigrör.
ALR	= totala tublängden för stigrör.
ALR1	= stighöjd.
AR	= total flödesarea i stigrör.

- DR = total diameter i stigrör.
 $DEW(\rho_w)$ = densitet hos domvatten.
 $DESS(\rho_s)$ = densitet hos mättad ånga.
 TW = domvattentemperatur.
 TR = temperatur i stigtuber.
 TS = mättnadstemperatur (domtryck).
 $PK1 (k_T)$ = proportionalitetskonstant temperatur-tryck vid mättnadstillstånd.
 $PK2 (k_d)$ = prop. konst. densitet - tryck vid mättnadstillstånd.
 $PK3 (k_h)$ = prop. konst. vattenentalpi - tryck vid mättnadstillstånd.
 $PK6 (c_{pw})$ = spec. värme för domvatten.
 $PK8 (c_T)$ = spec. värme för stigtuber.
 $PK9 (k_s)$ = prop. konst. ångentalpi - tryck vid mättnadstillstånd.
 HSS = entalpi hos mättad ånga (domtryck).
 HE = långbildningsvärme.
 HFW = matarvattnets entalpi.
 HWS = entalpi hos mättat vatten (domtryck).
 HW = entalpi hos domvatten.
 VS = ångfasens idomen volymi.
 $WMASS (M_w)$ = domvatten massa.
 $RMASS (M_T)$ = stigtubers massa.
 $ADR (A)$ = fri vattenyta i dom.
 QR = värme flöde från stigtuber till ånga-vatten-blandningen i dem.

- BETA (β) = konstant för ångkvalitetens fördelning i stigtuberna. (Här antages linjär fördelning $\Rightarrow \beta = 2$.)
- XSI (ξ) = förlustkoefficient för in- och utlopp.
- C1, C2 = koefficienter i den linjäriserade ekvationen för medeldensiteten som funktion av medelångkvaliteten,

$$\rho_m = C_1 \cdot X_m + C_2$$
- PD = domtryck.
- P2 = tryck efter första överhettare.
- P3 = tryck efter ångkylare.
- P5 = tryck före ventil.
- PM = mottryck efter ventil.
- WC = kylvattenflöde.
- TM1 = tubtemperatur i första överhettare.
- TM2 = tubtemperatur i andra överhettare.
- TS2 = ångtemperatur före ångkylare.
- TS3 = ångtemperatur efter ångkylare.
- TS5 = utloppstemperatur.
- HC = entalpi hos kylvatten.
- QS1 = värme flöde till första överhettaren.
- QS2 = värme flöde till andra överhettaren.
- R10 = PK1
- R11, R12 = propkonst. enl sid 32
- R13, R14 = -" -
- R16, R17 = -" -
- R15 = PK9

- AM_1 = tubernas massa i första överhettaren,
 AM_2 = tubernas massa i andra överhettaren,
 CP_1 = spec värme hos tuberna i första överhettaren,
 CP_2 = spec. värme hos tuberna i andra överhettaren.

Dessutom läses en följd av heltal in, som anger dimensionerna på de olika matriser som förekommer.

Dessa är konstanter som följer

IAA	=	15
JAA	=	29
N	=	7
NU	=	7
NV	=	8
NY	=	7
IQ	=	9
JQ	=	16
NVQ	=	2
NS	=	7

```

PROGRAM DRSH7M
C   COMPUTES THE STANDARD FORM S(A,B,C,D) OF A SEVENTH ORDER BOILER
C   WITH SUPERHEATER AND STEAMCOOLER MODEL. GIVEN THE ORIGINAL LINEARIZED
C   EQUATION MATRIX AA, THE INPUT DATA ARE IMACRO BOILER AND SUPER-
C   HEATER DATA, SUBROUTINE REQUIRED POLRT, MIART, EIGUNS
  DIMENSION AA(30,30),AA11(10,10),AA12(15,15),AA13(10,10);AA21(10,10
1),AA22(15,15),AA23(10,10),AA23I(10,10),AA3(20,20),BA(30,30),B(10,2
10),E(10,10),F(10,20),A(10,10),          Q(20,20),IBETA(30),JBETA(3
10),XROOT(5),ALFA(5),ROOTR(10),ROOTI(10),XROOTR(5),C(10,10),D(10,10
1),Q23I(10,10)
1100 READ 1060,NR
1060 FORMAT(I3)
  IF(NR-99) 1061,1061,998
1061 READ 1101,ADE
1101 FORMAT(E8,1)
  READ 1010,FD,ALD,ALD1,AD,DD,FR,ALR,ALR1,AR,DR,DEW,DESS,TW,TR,TS,PK
11,PK2,PK3,PK6,PK8,PK9,HSS,HE,HFW,HWS,HW,VS,WMASS,RMASS,ADR,QR,BETA
1,XSI,C1,C2,PD,P2,P3,P5,PM,WC,TM1,TM2,TS2,TS3,TS5,HC,QS1,QS2,R10,R1
11,R12,R13,R14,R15,R16,R17,AM1,AM2,OP1,OP2
1010 FORMAT(6F12.5)
  READ 5000,IAA,JAA,N,NU,NV,NY,IQ,JQ,NVQ,NS
5000 FORMAT(10I3)
C
C   PRINT INPUT DATA
C
  PRINT 1051
1051 FORMAT(1H1)
  PRINT 1009
1009 FORMAT(1H1,2(/),11H INPUT DATA,2(/))
  PRINT 1011
1011 FORMAT(/,15H DOWNCOMER DATA,/)
  PRINT 1012,FD
1012 FORMAT(21H FRICTION COEFFICIENT,14X,F11.5)
  PRINT 1013,ALD
1013 FORMAT(22H TOTAL LENGTH OF TUBES,13X,F11.5)
  PRINT 1014,ALD1
1014 FORMAT(19H LENGTH OF ONE TUBE,16X,F11.5)
  PRINT 1015,AD
1015 FORMAT(16H TOTAL FLOW AREA,19X,F11.5)
  PRINT 1016,DD
1016 FORMAT(20H TOTAL TUBE DIAMETER,15X,F11.5)
  PRINT 1017
1017 FORMAT(2(/),11H RISER DATA,/)
  PRINT 1012,FR
  PRINT 1013,ALR
  PRINT 1014,ALR1
  PRINT 1015,AR
  PRINT 1016,DR
  PRINT 1018,DEW
1018 FORMAT(2(/),28H DENSITY OF SATURATED LIQUID,7X,F11.5)
  PRINT 1019,DESS
1019 FORMAT(27H DENSITY OF SATURATED VAPOR,8X,F11.5)
  PRINT 1020,TW
1020 FORMAT(24H DRUM LIQUID TEMPERATURE,11X,F11.5)
  PRINT 1021,TR
1021 FORMAT(23H RISER TUBE TEMPERATURE,12X,F11.5)

```

FTN5,4B

29/11-68

```

      PRINT 1050,RMASS
1050  FORMAT(20H MASS OF RISER TUBES,15X,F11.5)
      PRINT 1022,TS
1022  FORMAT(23H SATURATION TEMPERATURE,12X,F11.5)
      PRINT 1023,HW
1023  FORMAT(24H ENTHALPY OF DRUM LIQUID,11X,F11.5)
      PRINT 1024,HFW
1024  FORMAT(22H ENTHALPY OF FEEDWATER,13X,F11.5)
      PRINT 1025,HWS
1025  FORMAT(29H ENTHALPY OF SATURATED LIQUID,6X,F11.5)
      PRINT 1026,HSS
1026  FORMAT(28H ENTHALPY OF SATURATED VAPOR,7X,F11.5)
      PRINT 1027,HE
1027  FORMAT(24H ENTHALPY OF EVAPORATION,11X,F11.5)
      PRINT 1028
1028  FORMAT(2(/),10H DRUM DATA,/)
      PRINT 1029,WMASS
1029  FORMAT(20H MASS OF DRUM LIQUID,15X,F11.5)
      PRINT 1030,VS
1030  FORMAT(24H VOLUME OF VAPOR IN DRUM,11X,F11.5)
      PRINT 1031,ADR
1031  FORMAT(28H LIQUID SURFACE AREA IN DRUM,7X,F11.5)
      PRINT 3031,PD
3031  FORMAT(14H DRUM PRESSURE,22X,F11.5)
      PRINT 1032,QR
1032  FORMAT(/,31H HEAT INPUT RATE TO RISER TUBES,3X,F12.5)
      PRINT 2010
2010  FORMAT(2(/),17H SUPERHEATER DATA,/)
      PRINT 2011,AM1,AM2
2011  FORMAT(26H MASS OF SUPERHEATER TUBES,9X,2F11.5)
      PRINT 2012,CP1,CP2
2012  FORMAT(24H CP OF SUPERHEATER TUBSE,11X,2F11.5)
      PRINT 2013,QS1,QS2
2013  FORMAT(32H HEAT INPUT RATE TO SUPERHEATERS,3X,2F11.5)
      PRINT 2014,TM1,TM2
2014  FORMAT(26H TEMP OF SUPERHEATER TUBES,9X,2F11.5)
      PRINT 2015,P2,P5
2015  FORMAT(28H PRESSURE AFTER SUPERHEATERS,7X,2F11.5)
      PRINT 2016,TS2,TS5
2016  FORMAT(24H TEMP AFTER SUPERHEATERS,11X,2F11.5)
      PRINT 2017,P3
2017  FORMAT(27H PRESSURE AFTER STEAMCOOLER,8X,F11.5)
      PRINT 2018,TS3
2018  FORMAT(23H TEMP AFTER STAEMCOOLER,12X,F11.5)
      PRINT 2019,WC
2019  FORMAT(15H COOLWATER FLOW,20X,F11.5)
      PRINT 2020,HC
2020  FORMAT(19H COOLWATER ENTHALPY,16X,F11.5)
      PRINT 1033
1033  FORMAT(2(/),10H CONSTANTS,/)
      PRINT 1034,PK1
1034  FORMAT(9H PK1 (KT),26X,F11.5)
      PRINT 1035,PK2
1035  FORMAT(9H PK2 (KD),26X,F11.5)
      PRINT 1036,PK3
1036  FORMAT(9H PK3 (KH),26X,F11.5)

```


29/11+68

```

PRINT 1037,PK6
1037 FORMAT(10H PK6 (CPW),26X,F11.5)
PRINT 1039,PK8
1039 FORMAT(9H PK8 (CR),26X,F11.5)
PRINT 1040,PK9
1040 FORMAT(9H PK9 (KS),26X,F11.5)
PRINT 1070,BETA
1070 FORMAT(5H BETA,30X,F11.5)
PRINT 1071,XSI
1071 FORMAT(4H XSI,31X,F11.5)
PRINT 1072,C1
1072 FORMAT(3H C1,32X,F11.5)
PRINT 1073,C2
1073 FORMAT(3H C2,32X,F11.5)
PRINT 2021,R10,R15
2021 FORMAT(4H R10,31X,F11.5/4H R15,31X,F11.5)
PRINT 2022,R11,R12
2022 FORMAT(4H R11,31X,F11.5/4H R12,31X,F11.5)
PRINT 2023,R13,R14
2023 FORMAT(4H R13,31X,F11.5/4H R14,31X,F11.5)
PRINT 2024,R16,R17
2024 FORMAT(4H R16,31X,F11.5/4H R17,31X,F11.5)
GA=9.81

```

```

C
C FACTORS OF COEFFICIENTS OF POLYNOMIAL IN STEAMQUALITY IS
C CALCULATED
C

```

```

AV1=GA*AD*AD
AV2=GA*AR*AR
AV3=QR*QR
A1=(FD*ALD/DD+3.)/(2.*AV1*DEW)
A2=ALD1*DEW
B1=(FR*ALR/DR+1.)/(2.*AV2)
B2=0.9/(AV2*DEW)
B3=0.1/AV2
B4=XSI/(2.*AV1*DEW*DEW)
B5=ALR1
D1=BETA*(1./DESS-1./DEW)
D2=1./DEW
E1=HW-HWS
E2=BETA*HE

```

```

C
C COEFFICIENTS OF POLYNOMIAL IN STEAMQUALITY IS CALCULATED
C

```

```

ALFA(4)=C1*(AV3*B1*D2*D2+B5*E2*E2)
ALFA(3)=AV3*B1*D1*(C2*D1+2.*C1*D2)+B5*E2*(C2*E2-2.*C1*E1)-A2*E2*E2
ALFA(2)=AV3*(B1*D2*(C1*D2+2.*C2*D1)+B3*D1-B4*C1)+B5*E1*(C1*E1-2.*C
12*E2)+2.*A2*E1*E2
ALFA(1)=AV3*(B1*C2*D2*D2+B2+B3*D2-B4*C2+A1)+E1*E1*(B5*C2-A2)
PRINT 10
10 FORMAT(1H1,2(/))

```

```

C
C ROOTS OF POLYNOMIAL IS CALCULATED
C

```

```

M=3
I=5

```

C

```
CALL POLRT(ALFA,M,ROOTR,ROOTI,I,IER)
```

C

```

KUF=IER+1
GO TO(39,39,39,41,42),KUF
41 PRINT 46
46 FORMAT(66H UNABLE TO DETERMINE ROOT WITH 500 ITERATIONS ON 5 STAB
LING VALUES)
GO TO 999
42 PRINT 47
47 FORMAT(32H HIGH ORDER COEFFICIENTS IS ZERO)
GO TO 999
39 PRINT 40
40 FORMAT(36H ROOTS OF POLYNOMIAL IN STEAMQUALITY,2(/))
PRINT 45
45 FORMAT(14X,10H REAL PART,5X,15H IMAGINARY PART,/)
DO 50 I=1,3
PRINT 55,ROOTR(I),ROOTI(I)
55 FORMAT(10X,E15,5,2X,E15,5)
50 CONTINUE

```

C

C

C

```
TEST ON REAL POSITIVE ROOTS
```

```

J=0
DO 60 I=1,3
IF(ABSF(ROOTI(I))-1.E-006) 65,60,60
65 J=J+1
XROOTR(J)=ROOTR(I)
60 CONTINUE
K=0
DO 70 I=1,J
IF(XROOTR(I)) 70,70,75
75 K=K+1
XROOT(K)=XROOTR(I)
70 CONTINUE
IF(K-1) 80,85,80
80 PRINT 81
81 FORMAT(48H FAILURE NO OR MORE THAN TWO POSITIVE REAL ROOTS)
GO TO 999
85 CONTINUE

```

C

C

C

```
COMPUTE AND PRINT STEADY STATE VALUES
```

```

W=QR/(E2*XROOT(1)-E1)
DE=1./(D1*XROOT(1)+D2)
DEM=C1*XROOT(1)+C2
AV8=TS-TW
PK4=W*(BETA*XROOT(1)+(HWS-HFW)/AV8-(HWS-HW)/AV8)/(HSS-HFW)
WE=PK4*AV8
WS=WE+BETA*XROOT(1)*W
WFW=WS
PK5=QR/(TR-TS)**3
HM=HWS+BETA*XROOT(1)*HE
HMM=HWS*XROOT(1)*HE
WS5=WS+WC
TS1=0.5*(TS+TS2)

```

```

TS4=0.5*(TS3+TS5)
HS2=QS1/WS+HSS
HS3=(WS*HS2+WC*HC)/WS5
HS5=HS3+QS2/WS5
R1=(PD-P2)/WS/WS
R2=(P2-P3)/WS5/WS5
R3=(P3-P5)/WS5/WS5
R6=0.8*QS1/WS
R7=QS1/(TM1-TS1)
R8=0.8*QS2/WS5
R9=QS2/(TM2-TS4)
R18=0.5*WS5/P5
R19=0.5*(P5-PM)/WS5
PRINT 86,XROOT(1)
86 FORMAT(//,28H MEAN VALUE OF STEAM QUALITY,E15.5,/)
PRINT 90,W
90 FORMAT(16H TOTAL MASS FLOW,15X,E15.5)
PRINT 101,DE
101 FORMAT(30H OUTLET DENSITY OF STEAM-WATER,/,8H MIXTURE,25X,E15.5)
PRINT 102,DEM
102 FORMAT(28H MEAN DENSITY OF STEAM-WATER,/,8H MIXTURE,23X,E15.5)
PRINT 95,PK4
95 FORMAT(24H CONSTANT OF EVAPORATION,7X,E15.5)
PRINT 100,WE
100 FORMAT(22H EVAPORATION MASS FLOW,9X,E15.5)
PRINT 105,WS
105 FORMAT(28H OUTLET STEAM FLOW FROM DRUM,3X,E15.5)
PRINT 91,PK5
91 FORMAT(31H HEAT TRANSFER COEFFICIENT FROM,/,27H RISER TUBES TO
1AM-WATER,/,8H MIXTURE,23X,E15.5)
PRINT 92,HM
92 FORMAT(27H OUTLET ENTHALPY OF MIXTURE,/,15H IN RISER TUBES,16
1.5)
PRINT 103,HMM
103 FORMAT(25H MEAN ENTHALPY OF MIXTURE,/,15H IN RISER TUBES,16X
1)
PRINT 104,WS5
104 FORMAT(24H TOTAL OUTLET STEAM FLOW,7X,E15.5)
PRINT 106,TS1,TS4
106 FORMAT(31H MEAN STEAMTEMP IN SUPERHEATERS,2E15.5)
PRINT 107,HS2,HS5
107 FORMAT(28H ENTHALPY AFTER SUPERHEATERS,3X,2E15.5)
PRINT 108,HS3
108 FORMAT(27H ENTHALPY AFTER STEAMCOOLER,4X,E15.5)
C
C ALL STEADY STATE VALUES ARE KNOWN.
C THE ELEMENTS OF MATRIX AA ARE CALCULATED
C
DO 200 I=1,IAA
DO 200 J=1,JAA
200 AA(I,J)=0.0
AV4=DEW-DESS
AV5=1.+BETA*AV4*XROOT(1)/DESS
AV6=LOGF(AV5)
AV7=1./AV5
AV9=DEW*DEW

```

29/11+68

```

AV10=AR*ALR1+DEM
AV11=1.-BETA*XROOT(1)
AV15=BETA*XROOT(1)*AV4
AA(1,1)=(AV9+AV6/(BETA*XROOT(1)*AV4+AV4)-AV9*AV7/(DESS*AV4))*PK2
AA(1,5)=DEW*AV7/XROOT(1)-DEW*DESS*AV6/(BETA*XROOT(1)*XROOT(1)*AV4)
AA(1,22)=1./(AR*ALR1)
AA(1,23)=-AA(1,22)
AA(2,8)=((B1*W*W)/(DE*DE)-(XSI*W*W)/(2.*AV1*AV9)+ALR1)*AA(1,1)/PK
12-(((FR*ALR)/DR+0.1)*(W*W*BETA*XROOT(1))/(AV2*DESS*DESS))*PK2
AA(2,12)=(B1*W*W/(DE*DE)-XSI*W*W/(2.*AV1*AV9)+ALR1)*AA(1,5)+(B1*DE
1M*2./DE+0.1/AV2)*W*W*D1
AA(2,22)=(B1*2.*DEM/DE+0.2/AV2)*W/DE
AA(2,23)=((1.8/AV2-XSI*DEM/(AV1*DEW))/DEW+A1*2.)*W
AA(3,25)=-1./(AR*ALR1*DEM*HE)
AA(3,1)=(PK3-XROOT(1)*(PK3-PK9))/HE
AA(3,5)=1.
AA(3,8)=-AA(3,25)*W*(PK3-BETA*XROOT(1)*(PK3-PK9))
AA(3,10)=AA(3,25)*W*PK6
AA(3,12)=BETA*W/AV10
AA(3,22)=-1.-BETA)*XROOT(1)/AV10
AA(3,23)=AA(3,25)*(HW-HMM)
AA(4,11)=-3.*PK5*(TR-TS)**2
AA(4,8)=-AA(4,11)*PK1
AA(4,25)=1.
AA(5,4)=1.
AA(5,15)=-1./(RMASS*PK8)
AA(5,25)=-AA(5,15)
AA(6,2)=ADR*DEW
AA(6,3)=WMASS*PK6/HW
AA(6,8)=-AV11*W*PK3-WE*PK9)/HW
AA(6,10)=W*PK6/HW
AA(6,12)=W*HWS*BETA/HW
AA(6,16)=-HFW/HW
AA(6,22)=-AV11*HWS/HW
AA(6,23)=1.
AA(6,24)=HSS/HW
AA(7,2)=AA(6,2)
AA(7,12)=W*BETA
AA(7,16)=-1.
AA(7,22)=-AV11
AA(7,23)=1.
AA(7,24)=1.
AA(8,1)=1.
AA(8,20)=-1./(VS*PK2)
AA(8,2)=ADR*DESS*AA(8,20)
AA(8,12)=BETA*W*AA(8,20)
AA(8,17)=-R18*AA(8,20)
AA(8,22)=BETA*XROOT(1)*AA(8,20)
AA(8,24)=AA(8,20)
AA(8,27)=-R19*AA(8,20)
AA(9,8)=PK4*PK1
AA(9,10)=-PK4
AA(9,24)=1.
AA(10,8)=R15*WS-0.5*R7*(R10+R12)
AA(10,13)=R7
AA(10,20)=HS2-HSS-R6-R1*R7+R12*WS

```

29/11-68

FTN5.48

```

AA(10,17)=-R18*AA(10,20)
AA(10,27)=-R19*AA(10,20)
AA(10,28)=-WS-0.5*R7*R11
AA(11,14)=R9
AA(11,17)=R18*(HS3-HS5*R8-R3*R9*R14+WS5)
AA(11,26)=-R16*WS5-0.5*R9
AA(11,27)=-R17*WS5-0.5*R9*R14+R19*AA(11,17)/R18
AA(11,29)=WS5-0.5*R9*R13
AA(12,17)=R18*(HS2-HS3)
AA(12,20)=HC-HS2
AA(12,21)=WC
AA(12,27)=R19*(HS2-HS3)
AA(12,28)=WS
AA(12,29)=-WS5
AA(13,8)=-1.
AA(13,17)=R18*2.*(WS5*(R2+R3)+WS*R1)
AA(13,20)=-2.*R1*WS
AA(13,27)=1.+R19*AA(13,17)/R18
AA(14,6)=AM1*CP1
AA(14,8)=-0.5*R7*(R10+R12)
AA(14,13)=R7
AA(14,20)=AA(10,20)-HS2+HSS
AA(14,17)=-R18*AA(14,20)
AA(14,18)=-1.
AA(14,27)=-R19*AA(14,20)
AA(14,28)=-0.5*R7*R11
AA(15,7)=AM2*CP2
AA(15,14)=R9
AA(15,17)=R18*(R8-R3*R9*R14+WS5)
AA(15,19)=-1.
AA(15,26)=-0.5*R9
AA(15,27)=-0.5*R9*R14+R19*AA(15,17)/R18
AA(15,29)=R13*AA(15,26)
PRINT 211

```

```

211 FORMAT(2(/),10H MATRIX AA,/)
DO 201 I=1,IAA
201 PRINT 202,(AA(I,J),J=1,JAA)
202 FORMAT(6E20,10)

```

```

:C
:C
:C

```

```

THE ELEMENTS OF Q ARE CALCULATED

```

```

DO 805 I=1,IQ
DO 805 J=1,JQ
805 Q(I,J)=0.
Q(1,1)=1.
Q(1,8)=-1.
Q(2,2)=1.
Q(2,9)=-1.
Q(3,3)=-2.*R1*R12*WS
Q(3,6)=-1.
Q(3,8)=R12
Q(3,13)=-Q(3,3)
Q(3,15)=R11
Q(4,3)=2.*R3*R14*WS5
Q(4,5)=R14
Q(4,7)=1.

```

FTN5.4B

29/11+68

```

Q(4,16)=R13
Q(5,3)=1.
Q(5,5)=-R19
Q(5,12)=-R18
Q(6,5)=AA(10,27)
Q(6,8)=AA(10,8)
Q(6,10)=AA(10,13)
Q(6,12)=AA(10,17)
Q(6,13)=AA(10,20)
Q(6,15)=AA(10,28)
Q(7,5)=AA(13,27)
Q(7,8)=AA(13,8)
Q(7,12)=AA(13,17)
Q(7,13)=AA(13,20)
Q(8,5)=AA(12,27)
Q(8,12)=AA(12,17)
Q(8,13)=AA(12,20)
Q(8,14)=AA(12,21)
Q(8,15)=AA(12,28)
Q(8,16)=AA(12,29)
Q(9,4)=AA(11,26)
Q(9,5)=AA(11,27)
Q(9,11)=AA(11,14)
Q(9,12)=AA(11,17)
Q(9,16)=AA(11,29)
C
C   FIND AN INVERTABLE SUBMATRIX AA23 AND COMPUTE THE INVERSE
C
DO 207, I=1, IAA
DO 207, J=1, NV
K=2*N+NU+J
:207 AA3(I, J)=AA(I, K)
   INVRT=1
   IRANK=1
   IPS=1
   DELTA=1.0E-008
   I=0
C
C   CALL MIART(AA3, IAA, NV, I, INVRT, IRANK, IPS, DELTA, 20, 20, IBETA, JBETA)
C
PRINT 208
:208 FORMAT(1H1, 3(/))
PRINT 210, IRANK
:210 FORMAT(23H RANK OF SUBMATRIX AA3=, I1, /)
PRINT 215, (IBETA(I), I=1, IAA)
:215 FORMAT(6H IBETA, /, 20I5, /)
PRINT 220, (JBETA(I), I=1, NV)
:220 FORMAT(6H JBETA, /, 20I5, /)
   IF(IRANK-NV) :240, 241, 240
240 PRINT 242
242 FORMAT(37H FAILURE RANK OF SUBMATRIX AA3 N.E.NV, /, 8X, 29H PROGRAM
1EXECUTION IS STOPPED)
   GO TO 999
:241 CONTINUE
DO :243 I=1, NV
DO :243 J=1, NV

```

FTN5.4B

29/11-68

```

243 AA23I(I,J)=AA3(I,J)
C
C REARRANGE AA
C
      K=0
      L=0
      DO 250 I=1,IAA
      IPAK=IBETA(I)
      IF(IPAK) 251,251,252
251 K=K+1
      DO 255 J=1,JAA
255 BA(K,J)=AA(I,J)
      GO TO 250
252 L=L+1
      DO 256 J=1,JAA
      M=L+N
256 BA(M,J)=AA(I,J)
250 CONTINUE
      DO 260 I=1,IAA
      DO 260 J=1,JAA
260 AA(I,J)=BA(I,J)
C
C PARTITION AA
C
      DO 280 I=1,N
      DO 280 J=1,N
280 AA11(I,J)=AA(I,J)
      DO 285 I=1,N
      K=N+NU
      DO 285 J=1,K
      L=J+N
285 AA12(I,J)=AA(I,L)
      DO 290 I=1,N
      DO 290 J=1,NV
      L=JAA-NV+J
290 AA13(I,J)=AA(I,L)
      DO 295 I=1,NV
      DO 295 J=1,N
      L=I+N
295 AA21(I,J)=AA(L,J)
      DO 300 I=1,NV
      K=N+NU
      DO 300 J=1,K
      L=N+I
      M=N+J
300 AA22(I,J)=AA(L,M)
      DO 301 I=1,NV
      DO 301 J=1,NV
      L=N+I
      M=JAA-NV+J
301 AA23(I,J)=AA(L,M)
C
C COMPUTE E AND F
C
      L=N+NU
      DO 350 I=1,NV

```

FTN5.4B

29/11-68

```

DO 350 J=1,N
SUM=0.
DO 376 K=1,NV
376 SUM=SUM+AA23I(I,K)*AA21(K,J)
350 B(I,J)=SUM
DO 355 I=1,N
DO 355 J=1,N
SUM=0.
DO 377 K=1,NV
377 SUM=SUM+AA13(I,K)*B(K,J)
355 E(I,J)=SUM
DO 360 I=1,N
DO 360 J=1,N
360 E(I,J)=AA11(I,J)-E(I,J)
DO 365 I=1,NV
DO 365 J=1,L
SUM=0.
DO 378 K=1,NV
378 SUM=SUM+AA23I(I,K)*AA22(K,J)
365 B(I,J)=SUM
DO 370 I=1,N
DO 370 J=1,L
SUM=0.
DO 379 K=1,NV
379 SUM=SUM+AA13(I,K)*B(K,J)
370 F(I,J)=SUM
DO 375 I=1,N
DO 375 J=1,L
375 F(I,J)=AA12(I,J)-F(I,J)

```

C
C
C

SOLVE THE LINEAR EQUATION EX+F=0

```

DO 400 I=1,N
DO 400 J=1,N
400 BA(I,J)=E(I,J)
DO 405 I=1,N
DO 405 J=1,L
M=N+J
405 BA(I,M)=-F(I,J)
JJ=N+NU
DELTA=ADE
INVRT=0
IRANK=0
IRS=0
IA=30
IB=30

```

C
C

CALL MIART(BA,N,N, JJ, INVRT, IRANK, IRS, DELTA, IA, IB, IBETA, UBETA)

```

PRINT 800, DELTA
800 FORMAT(/, 24H DETERMINANT OF MATRIX E, E15.5, /)
PRINT 801, (IBETA(I), I=1, N)
801 FORMAT(6H IBETA, /, 10(I5), /)
PRINT 802, (JBETA(I), I=1, N)
802 FORMAT(6H JBETA, /, 10(I5), 2(/))
IF(INVRT+1) 410, 415, 410

```


FTN5,4B

29/11-68

```

415 PRINT 420
420 FORMAT(2(/),46H FAILURE THE LINEAR EQUATION CAN NOT BE SOLVED,2(/)
1)
GO TO 999
410 CONTINUE
C
C   CONSTITUTE MATRICES A AND B
C
DO 425 I=1,N
DO 425 J=1,N
L=N+J
425 A(I,J)=BA(I,L)
DO 430 I=1,N
DO 430 J=1,NU
L=N+NU+J
430 B(I,J)=BA(I,L)
C
C   PRINT MATRICES A AND B
C
PRINT 435
435 FORMAT(2(/),16H SYSTEM MATRIX A,2(/))
DO 440 I=1,N
440 PRINT 445,(A(I,J),J=1,N)
445 FORMAT(7E17.7)
PRINT 450
450 FORMAT(2(/),16H SYSTEM MATRIX B,2(/))
DO 455 I=1,N
455 PRINT 445,(B(I,J),J=1,NU)
C
C   COMPUTE THE EIGENVALUES OF MATRIX A
C
ISYM=0
CALL HHOLDER(A,D,N,10,ISYM)
C
IOPT=0
TOLQR=ADE
CALL QRHESSC(A,A,N,10,ROOTR,ROOTI,TOLQR,IERR,IOPT)
C
IF(IERR) 600,601,600
600 PRINT 602,IERR
602 FORMAT(/,18H FAILURE IN EIGUNS,13)
GO TO 999
601 PRINT 603
603 FORMAT(/,24H EIGENVALUES OF MATRIX A,/)
PRINT 604
604 FORMAT(14X,10H REAL PART,10X,15H IMAGINARY PART,/)
DO 605 I=1,N
605 PRINT 606,ROOTR(I),ROOTI(I)
606 FORMAT(7X,E20.10,6X,E20.10)
5000 PRINT 5001
5001 FORMAT(2(/),9H MATRIX Q,/)
DO 5002 I=1,IQ
5002 PRINT 202,(Q(I,J),J=1,IQ)
C
C   PARTITION Q

```

FTN5.4B

29/11+68

C

```

DO 810 I=1,NY
DO 810 J=1,NY
810 AA11(I,J)=Q(I,J)
DO 811 I=1,NY
DO 811 J=1,NS
L=NY+J

```

```

811 AA12(I,J)=Q(I,L)
DO 812 I=1,NY
DO 812 J=1,NVQ
L=NY+NS+J

```

```

812 AA13(I,J)=Q(I,L)
DO 813 I=1,NVQ
DO 813 J=1,NY
L=NY+I

```

```

813 AA21(I,J)=Q(L,J)
DO 814 I=1,NVQ
DO 814 J=1,NS
L=NY+I
M=NY+J

```

```

814 AA22(I,J)=Q(L,M)
DO 815 I=1,NVQ
DO 815 J=1,NVQ
L=NY+I
M=NY+NS+J

```

```

815 AA23(I,J)=Q(L,M)

```

C

C

C

```

WE KNOW Q23I EXISTS AND WANT ONLY THE INVERSE

```

```

I=0
INVRT=1
IRANK=0
IPS=0
DELTA=ADE

```

C

```

CALL MIART(AA23,NVQ,NVQ,I,INVRT,IRANK,IPS,DELTA,10,10,IBETA,JBETA)

```

C

C

C

```

COMPUTE E AND F

```

```

DO 819 I=1,NVQ
DO 819 J=1,NVQ
819 Q23I(I,J)=AA23(I,J)
DO 820 I=1,NVQ
DO 820 J=1,NY
SUM=0.
DO 821 K=1,NVQ
821 SUM=SUM+Q23I(I,K)*AA21(K,J)
820 B(I,J)=SUM
DO 822 I=1,NY
DO 822 J=1,NY
SUM=0.
DO 823 K=1,NVQ
823 SUM=SUM+AA13(I,K)*B(K,J)
822 E(I,J)=SUM
DO 824 I=1,NY
DO 824 J=1,NY

```

FTN5.4B

29/11/68

```

824 E(I,J)=AA11(I,J)-E(I,J)
DO 825 I=1,NVG
DO 825 J=1,NS
SUM=0,
DO 826 K=1,NVG
826 SUM=SUM+Q23I(I,K)+AA22(K,J)
825 B(I,J)=SUM
DO 827 I=1,NY
DO 827 J=1,NS
SUM=0,
DO 828 K=1,NVG
828 SUM=SUM+AA13(I,K)+B(K,J)
827 F(I,J)=SUM
DO 829 I=1,NY
DO 829 J=1,NS
829 F(I,J)=AA12(I,J)-F(I,J)
C
C SOLVE THE LINEAR EQUATION EX+F=0
C
DO 830 I=1,NY
DO 830 J=1,NY
830 BA(I,J)=E(I,J)
DO 831 I=1,NY
DO 831 J=1,NS
M=NY+J
831 BA(I,M)=-F(I,J)
INVRT=0
IRANK=0
IPS=0
DELTA=ADE
C
CALL MIART(BA,NY,NY,NS,INVRT,IRANK,IPS,DELTA,30,30,IBETA,JBETA)
C
IF(INVRT+1) 840,415,840
840 CONTINUE
C
C CONSTITUTE MATRICES C AND D
C
DO 845 I=1,NY
DO 845 J=1,2
L=NY+J
845 C(I,J)=BA(I,L)
DO 846 I=1,NY
DO 846 J=3,5
846 C(I,J)=0.
DO 847 I=1,NY
DO 847 J=6,N
L=NY-3+J
847 C(I,J)=BA(I,L)
DO 850 I=1,NY
DO 850 J=1,NU
850 D(I,J)=0.
DO 851 I=1,NY
851 D(I,3)=BA(I,12)
DO 852 I=1,NY
DO 852 J=6,NU

```

FTN5.4B

29/11-68

```
      L=J+7
852 D(I,J)=BA(I,L)
C
C   PRINT MATRICES IC AND ID
C
      PRINT 855
855 FORMAT(2(/),16H SYSTEM MATRIX IC,2(/))
      DO 856 I=1,NY
856 PRINT 445,(C(I,J),J=1,N)
      PRINT 865
865 FORMAT(2(/),16H SYSTEM MATRIX ID,2(/))
      DO 866 I=1,NY
866 PRINT 445,(D(I,J),J=1,NU)
999 CONTINUE
      GO TO 1100
998 CALL EXIT
      END
```

INPUT DATA

Fall 1

DOWNCOMER DATA

FRICITION COEFFICIENT	0.01000
TOTAL LENGTH OF TUBES	175.00000
LENGTH OF ONE TUBE	4.57000
TOTAL FLOW AREA	0.05320
TOTAL TUBE DIAMETER	1.62500

RISER DATA

FRICITION COEFFICIENT	0.02000
TOTAL LENGTH OF TUBES	10958.00000
LENGTH OF ONE TUBE	4.57000
TOTAL FLOW AREA	1.56600
TOTAL TUBE DIAMETER	68.50000

DENSITY OF SATURATED LIQUID	745.00000
DESITY OF SATURATED VAPOR,	38.10000
DRUM LIQUID TEMPERATURE	283.00000
RISER TUBE TEMPERATURE	325.00000
MASS OF RISER TUBES	34030.00000
SATURATION TEMPERATURE	288.20000
ENTHALPY OF DRUM LIQUID	1252.20000
ENTHALPY OF FEEDWATER	778.40000
ENTHALPY OF SATURATED LIQUID	1279.50000
ENTHALPY OF SATURATED VAPOR	2767.70000
ENTHALPY OF EVAPORATION	1488.10000

DRUM DATA

MASS OF DRUM LIQUID	2968.00000
VOLUME OF VAPOR IN DRUM	3.75000
LIQUID SURFACE AREA IN DRUM	8.51000
DRUM PRESSURE	72.50000

HEAT INPUT RATE TO RISER TUBES	23450.00000
--------------------------------	-------------

SUPERHEATER DATA

MASS OF SUPERHEATER TUBES	6163.00000	937.00000
CP OF SUPERHEATER TUBSE	0.54000	0.54000
HEAT INPUT RATE TO SUPERHEATERS	6970.00000	1149.00000
TEMP OF SUPERHEATER TUBES	417.00000	544.00000
PRESSURE AFTER SUPERHEATERS	62.60000	59.60000
TEMP AFTER SUPERHEATERS	475.00000	510.00000
PRESSURE AFTER STEAMCOOLER	60.00000	
TEMP AFTER STAEMCOOLER	469.30000	
COOLWATER FLOW	0.04680	
COOLWATER ENTHALPY	778.40000	

CONSTANTS

PK1 (KT)	0.94200
PK2 (KD)	0.59200
PK3 (KH)	5.06000
PK6 (CPW)	4.43000
PK8 (CR)	0.54000
PK9 (KS)	-1.40000
BETA	2.00000
XSI	0.50000
C1	-5695.00000
C2	660.00000
R10	0.94200
R15	-1.40000
R11	0.41500
R12	0.53000
R13	0.41600
R14	0.55000
R16	2.36500
R17	-1.08000

Fail 1

STEM MATRIX A

-1.5409312-001	-0.0000000+000	5.3521837-002	9.6213249-002	1.3483842+000	-9.0949470-013	-9.0949470-013	-9.0949470-013
1.4396620-004	-0.0000000+000	-1.9928502-004	2.0998273-004	-3.4906713-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
7.8238578-002	-0.0000000+000	-8.0641851-002	2.7478584-003	-3.4329777+000	1.1368684-013	1.1368684-013	0.0090000+000
9.7996706-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	-1.0403047-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
-9.6468436-005	-0.0000000+000	-3.2212054-006	1.4179710-004	-8.9441709-002	-1.7763568-015	-1.7763568-015	1.7763568-015
-1.8045799-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	-1.3248363-002	-1.3248363-002	-1.8189894-012
-4.9936157-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	4.7386971-002	4.7386971-002	-3.0328657-002

STEM MATRIX B

0.0000000+000	4.3876121-003	-5.9783991-003	-7.1054274-015	-5.6843419-014	6.6142311-002	6.6142311-002	0.0000000+000
0.0000000+000	1.1702936-004	5.5457128-005	2.7755576-017	0.0000000+000	-6.1355264-004	-6.1355264-004	1.3877788-017
0.0000000+000	-3.6567854-002	7.2571842-004	4.4408921-016	7.1054274-015	-8.0290212-003	-8.0290212-003	2.2204460-016
5.4418215-005	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
0.0000000+000	-8.8001781-006	1.1990800-005	6.9388939-018	0.0000000+000	-1.3266080-004	-1.3266080-004	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	-1.2236012-002	3.0047896-004	-1.1368684-013	1.3537372-001	1.3537372-001	-1.7763568-015
0.0000000+000	0.0000000+000	-1.3464612-002	0.0000000+000	1.9763627-003	-2.7847130+000	-2.7847130+000	-5.0298688-005

EIGENVALUES OF MATRIX A

REAL PART	IMAGINARY PART
-2.4359073326-001	-2.2281571195-015
-1.0426375005-001	2.1823504036-014
-7.6428066746-002	-2.6165736244-012
-1.3248363235-002	-1.2183004605-011
-3.9245992608-003	1.1797702138-011
-3.0328656910-002	9.8248998101-011
0.0000000000+000	0.0000000000+000

Fall 2.

STEM MATRIX A

-1.5409312-001	-0.0000000+000	5.3521837-002	9.6213249-002	1.3483842+000	-9.0949470-013	-9.0949470-013
1.4396620-004	-0.0000000+000	1.9928502-004	2.0998273-004	-3.4906713-001	0.0000000+000	0.0000000+000
7.8238578-002	-0.0000000+000	8.0641851-002	2.7478584-003	-3.4329777+000	1.1368684-013	0.0000000+000
9.7996706-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	-1.0403047-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
-9.6468436-005	-0.0000000+000	3.2212054-006	1.4179710-004	-8.9441709-002	-1.7763568-015	1.7763568-015
-1.8045799-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	-1.3248363-002	-1.8189894-012
-9.9872314-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	9.4773942-002	-6.0657313-002

STEM MATRIX B

0.0000000+000	4.3876121-003	5.9783991-003	-7.1054274-015	-5.6843419-014	6.6142311-002	0.0000000+000
0.0000000+000	1.1702936-004	5.5457128-005	2.7755576-017	0.0000000+000	-6.1355264-004	1.3877788-017
0.0000000+000	-3.6567854-002	7.2571842-004	4.4408921-016	7.1054274-015	-8.0290212-003	2.2204460-016
5.4418215-005	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
0.0000000+000	-8.8001781-006	1.1990800-005	6.9388939-018	0.0000000+000	-1.3266080-004	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	-1.2236012-002	3.0047896-004	-1.1368684-013	1.3537372-001	-1.7763568-015
0.0000000+000	0.0000000+000	-2.6929225-002	0.0000000+000	3.9527254-003	-5.5694260+000	1.0059738-004

GENVALUES OF MATRIX A

REAL PART	IMAGINARY PART
-2.4359073336-001	0.0000000000+000
-1.0426374993-001	0.0000000000+000
-1.3248363074-002	0.0000000000+000
-3.9245972265-003	0.0000000000+000
-6.0657319170-002	0.0000000000+000
-7.6428076631-002	0.0000000000+000
0.0000000000+000	0.0000000000+000

~~0.000000000+000 0.000000000+000 0.000000000+000 0.000000000+000 7.4382576176+000~~

Fail 2

STEM MATRIX C

1.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	-0.0000000+000	0.0000000+000
0.0000000+000	1.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	-0.0000000+000	0.0000000+000
1.3638095-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	-0.0000000+000	0.0000000+000
-5.2490327-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	7.1858560-001	5.4823594-001
7.0180065-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	-0.0000000+000	0.0000000+000
-8.9679174-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	1.5521334+000	-2.9103830-011
-8.6338665-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	1.5497213+000	-2.9103830-011

STEM MATRIX D

0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	6.9682767-002	0.0000000+000	0.0000000+000	2.2906130-001	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	-5.9527841-002	0.0000000+000	0.0000000+000	-4.1837721+001	7.6273946-004
0.0000000+000	0.0000000+000	1.5236259-001	0.0000000+000	0.0000000+000	1.1787230+000	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	7.8846686-002	0.0000000+000	0.0000000+000	8.7232417-001	-5.6843419-014
0.0000000+000	0.0000000+000	7.3007866-002	0.0000000+000	0.0000000+000	-8.9777181+001	1.6449447-003

Fall 3

STEM MATRIX A

-1.5409312-001	-0.0000000+000	5.3521837-002	9.6213249-002	1.3483842+000	-9.0949470-013	-9.0949470-013
1.4396620-004	-0.0000000+000	=1.9928502-004	2.0998273-004	-3.4906713-001	0.0000000+000	7.1054274-015
7.8238578-002	-0.0000000+000	=8.0641851-002	2.7478584-003	-3.4329777+000	1.1368684-013	1.1368684-013
9.7996706-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	-1.0403047-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
-9.6468436-005	-0.0000000+000	=3.2212054-006	1.4179710-004	-8.9441709-002	-1.7763568-015	1.7763568-015
-1.8045799-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	-1.3248363-002	-1.8189894-012
-2.4961419-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	2.3687166-002	-1.5160283-002

STEM MATRIX B

0.0000000+000	4.3876121-003	-5.9783991-003	-7.1054274-015	-5.6843419-014	6.6142311-002	0.0000000+000
0.0000000+000	1.1702936-004	5.5457128-005	2.7755576-017	0.0000000+000	-6.1355264-004	0.0000000+000
0.0000000+000	-3.6567854-002	7.2571842-004	4.4408921-016	0.0000000+000	-8.0290212-003	2.2204460-016
5.4418215-005	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
0.0000000+000	-8.8001781-006	1.1990800-005	6.9388939-018	0.0000000+000	-1.3266080-004	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	=1.2236012-002	3.0047896-004	-1.1368684-013	1.3537372-001	-1.7763568-015
0.0000000+000	0.0000000+000	=6.7305104-003	0.0000000+000	9.8791777-004	-1.3919851+000	2.5142635-005

EIGENVALUES OF MATRIX A

REAL PART

-2.4359073327-001
 -1.0426375001-001
 -7.6428066645-002
 -1.5160283302-002
 -1.3248362806-002
 -3.9245993971-003
 0.0000000000+000

IMAGINARY PART

0.0000000000+000
 0.0000000000+000
 0.0000000000+000
 0.0000000000+000
 0.0000000000+000
 0.0000000000+000
 0.0000000000+000

Fail 4

STEM MATRIX A

-1.5409312-001	-0.0000000+000	5.3521837-002	9.6213249-002	1.3483842+000	-9.0949470-013	0.0000000+000
1.4396620-004	-0.0000000+000	-1.9928502-004	2.0998273-004	-3.4906713-001	0.0000000+000	0.0000000+000
7.8238578-002	-0.0000000+000	=8.0641851-002	2.7478584-003	-3.4329777+000	1.1368684-013	1.1368684-013
9.7996706-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	-1.0403047-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
-9.6468436-005	-0.0000000+000	-3.2212054-006	1.4179710-004	-8.9441709-002	-1.7763568-015	1.7763568-015
-3.6091597-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	-2.6496726-002	-3.6379788-012
-4.9909524-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	4.7361698-002	-3.0312481-002

STEM MATRIX B

0.0000000+000	4.3876121-003	=5.9783991-003	-7.1054274-015	-1.1368684-013	6.6142311-002	-1.7763568-015
0.0000000+000	1.1702936=004	5.5457128-005	2.7755576-017	0.0000000+000	-6.1355264-004	1.3877788-017
0.0000000+000	-3.6567854=002	7.2571842-004	4.4408921-016	0.0000000+000	-8.0290212-003	2.2204460-016
5.4418215-005	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
0.0000000+000	-8.8001781=006	1.1990800-005	6.9388939-018	0.0000000+000	-1.3266080-004	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	=2.4472024-002	6.0095793-004	-2.2737368-013	2.7074744-001	-3.5527137-015
0.0000000+000	0.0000000+000	=1.3457431-002	0.0000000+000	1.9753086-003	-2.7832278+000	5.0271862-005

GENVALUES OF MATRIX A

REAL PART	IMAGINARY PART
-2.4359073328-001	0.0000000000+000
-1.0426375005-001	0.0000000000+000
-3.0312481374-002	0.0000000000+000
-2.6496725531-002	0.0000000000+000
-3.9245994744-003	0.0000000000+000
-7.6428066932-002	0.0000000000+000
0.0000000000+000	0.0000000000+000

Fall 4

STEM MATRIX C

1.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	-0.0000000+000	0.0000000+000
0.0000000+000	1.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	-0.0000000+000	0.0000000+000
1.3638095-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	-0.0000000+000	0.0000000+000
-5.2490327-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	7.1858560-001	5.4823594-001
7.0180065-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	-0.0000000+000	0.0000000+000
-8.9679174-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	1.5521334+000	-2.9103830-011
-8.6338665-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	1.5497213+000	-2.9103830-011

STEM MATRIX D

0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	6.9682767-002	0.0000000+000	0.0000000+000	2.2906130-001	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	5.9527841-002	0.0000000+000	0.0000000+000	4.1837721+001	7.6273946-004
0.0000000+000	0.0000000+000	1.5236259-001	0.0000000+000	0.0000000+000	1.1787230+000	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	7.8846686-002	0.0000000+000	0.0000000+000	8.7232417-001	-5.6843419-014
0.0000000+000	0.0000000+000	7.3007866-002	0.0000000+000	0.0000000+000	8.9777181+001	1.6449447-003

STEM MATRIX A

-1.5409312-001	-0.0000000+000	5.3521837-002	9.6213249-002	1.3483842+000	-9.0949470-013	-9.0949470-013
1.4396620-004	-0.0000000+000	-1.9928502-004	2.0998273-004	-3.4906713-001	0.0000000+000	0.0000000+000
7.8238578-002	-0.0000000+000	-8.0641851-002	2.7478584-003	-3.4329777+000	1.1368684-013	0.0000000+000
9.7996706-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	-1.0403047-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
-9.6468436-005	-0.0000000+000	-3.2212054-006	1.4179710-004	-8.9441709-002	-1.7763568-015	1.7763568-015
-3.6091597-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	-2.6496726-002	-3.6379788-012
-9.9872314-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	9.4773942-002	-6.0657313-002

STEM MATRIX B

0.0000000+000	4.3876121-003	-5.9783991-003	-7.1054274-015	-5.6843419-014	6.6142311-002	0.0000000+000
0.0000000+000	1.1702936-004	5.5457128-005	2.7755576-017	0.0000000+000	-6.1355264-004	1.3877788-017
0.0000000+000	-3.6567854-002	7.2571842-004	4.4408921-016	7.1054274-015	-8.0290212-003	2.2204460-016
5.4418215-005	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
0.0000000+000	-8.8001781-006	1.1990800-005	6.9388939-018	0.0000000+000	-1.3266080-004	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	-2.4472024-002	6.0095793-004	-2.2737368-013	2.7074744-001	-3.5527137-015
0.0000000+000	0.0000000+000	-2.6929225-002	0.0000000+000	3.9527254-003	-5.5694260+000	1.0059738-002

GENVALUES OF MATRIX A

REAL PART

IMAGINARY PART

-2.4359073327-001	0.0000000000+000
-2.6496725727-002	0.0000000000+000
-3.9246041484-003	0.0000000000+000
-1.0426375052-001	0.0000000000+000
-7.6428066550-002	0.0000000000+000
-6.0657313280-002	0.0000000000+000
0.0000000000+000	0.0000000000+000

Fall 5

STEM MATRIX C

1.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	-0.000000+000	0.000000+000
0.000000+000	1.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	-0.000000+000	0.000000+000
1.3638095-001	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	-0.000000+000	0.000000+000
-5.2490327-001	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	7.1858560-001	5.4823594-001
7.0180065-001	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	-0.000000+000	0.000000+000
-8.9679174-001	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	1.5521334+000	-2.9103830-011
-8.6338665-001	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	1.5497213+000	-2.9103830-011

STEM MATRIX D

0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000
0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000	0.000000+000
0.000000+000	0.000000+000	6.9682767-002	0.000000+000	0.000000+000	2.2906130-001	0.000000+000
0.000000+000	0.000000+000	5.9527841-002	0.000000+000	0.000000+000	-4.1837721+001	7.6273946-004
0.000000+000	0.000000+000	1.5236259-001	0.000000+000	0.000000+000	1.1787230+000	0.000000+000
0.000000+000	0.000000+000	7.8846686-002	0.000000+000	0.000000+000	8.7232417-001	-5.6843419-014
0.000000+000	0.000000+000	7.3007866-002	0.000000+000	0.000000+000	-8.9777181+001	1.6449447-003

Fall 6

STEM MATRIX A

-1.5409312-001	-0.0000000+000	5.3521837-002	9.6213249-002	1.3483842+000	-9.0949470-013	9.0949470-013
1.4396620-004	-0.0000000+000	-1.9928502-004	2.0998273-004	-3.4906713-001	0.0000000+000	7.1054274-015
7.8238578-002	-0.0000000+000	-8.0641851-002	2.7478584-003	-3.4329777+000	1.1368684-013	1.1368684-013
9.7996706-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	-1.0403047-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
-9.6468436-005	-0.0000000+000	-3.2212054-006	1.4179710-004	-8.9441709-002	-1.7763568-015	1.7763568-015
-3.6091597-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	-2.6496726-002	-3.6379788-012
-2.4961419-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	2.3687166-002	-1.5160283-002

STEM MATRIX B

0.0000000+000	4.3876121-003	-5.9783991-003	-7.1054274-015	-5.6843419-014	6.6142311-002	0.0000000+000
0.0000000+000	1.1702936-004	5.5457128-005	2.7755576-017	0.0000000+000	-6.1355264-004	0.0000000+000
0.0000000+000	-3.6567854-002	7.2571842-004	4.4408921-016	0.0000000+000	-8.0290212-003	2.2204460-016
5.4418215-005	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
0.0000000+000	-8.8001781-006	1.1990800-005	6.9388939-018	0.0000000+000	-1.3266080-004	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	-2.4472024-002	6.0095793-004	-2.2737368-013	2.7074744-001	-3.5527137-015
0.0000000+000	0.0000000+000	-6.7305104-003	0.0000000+000	9.8791777-004	-1.3919851+000	2.5142635-005

EIGENVALUES OF MATRIX A

REAL PART

-2.4359073327-001
-1.0426374996-001
-7.6428067411-002
-2.6496723730-002
-1.5160305484-002
-3.9245790167-003
0.0000000000+000

IMAGINARY PART

0.0000000000+000
0.0000000000+000
0.0000000000+000
0.0000000000+000
0.0000000000+000
0.0000000000+000
0.0000000000+000

Fall 6

STEM MATRIX C

1.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
0.0000000+000	1.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
1.3638095-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
-5.2490327-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	7.1858560-001	5.4823594-001
7.0180065-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
-8.9679174-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	1.5521334+000	-2.9103830-011
-8.6338665-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	1.5497213+000	-2.9103830-011

STEM MATRIX D

0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	6.9682767-002	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	2.2906130-001	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	-5.9527841-002	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	-4.1837721+001	7.6273946-002
0.0000000+000	0.0000000+000	-1.5236259-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	1.1787230+000	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	-7.8846686-002	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	8.7232417-001	-5.6843419-011
0.0000000+000	0.0000000+000	-7.3007866-002	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	-8.9777181+001	1.6449447-002

Fall 7

STEM MATRIX A

-1.5409312-001	-0.0000000+000	5.3521837-002	9.6213249-002	1.3483842+000	9.0949470-013	-9.0949470-013
1.4396620-004	-0.0000000+000	-1.9928502-004	2.0998273-004	-3.4906713-001	1.4210855-014	0.0000000+000
7.8238578-002	-0.0000000+000	-8.0641851-002	2.7478584-003	-3.4329777+000	1.1368684-013	0.0000000+000
9.7996706-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	-1.0403047-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
-9.6468436-005	-0.0000000+000	-3.2212054-006	1.4179710-004	-8.9441709-002	-1.7763568-015	1.7763568-015
-9.0225333-003	-0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	-6.6239128-003	9.0949470-013
-9.9872314-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	9.4773942-002	-6.0657313-002

STEM MATRIX B

0.0000000+000	4.3876121-003	-5.9783991-003	-7.1054274-015	0.0000000+000	6.6142311-002	0.0000000+000
0.0000000+000	1.1702936-004	5.5457128-005	-2.7755576-017	0.0000000+000	-6.1355264-004	0.0000000+000
0.0000000+000	-3.6567854-002	7.2571842-004	4.4408921-016	7.1054274-015	-8.0290212-003	2.2204460-016
5.4418215-005	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
0.0000000+000	-8.8001781-006	1.1990800-005	6.9388939-018	1.1102230-016	-1.3266080-004	0.0000000+000
0.0000000+000	0.0000000+000	-6.1177579-003	1.5023339-004	0.0000000+000	6.7684114-002	-2.6645353-015
0.0000000+000	0.0000000+000	-2.6929225-002	0.0000000+000	3.9527254-003	-5.5694260+000	1.0059738-004

EIGENVALUES OF MATRIX A

REAL PART	IMAGINARY PART
-2.4359073328-001	0.0000000000+000
-1.0426375014-001	0.0000000000+000
-6.0657294496-002	0.0000000000+000
-7.6428086179-002	0.0000000000+000
-6.6239128363-003	0.0000000000+000
-3.9245899770-003	0.0000000000+000
0.0000000000+000	0.0000000000+000

Fall 8

STEM MATRIX A

-1.5409312-001	-0.0000000+000	5.3521837-002	9.6213249-002	1.3483842+000	9.0949470-013	-9.0949470-013
1.4396620-004	-0.0000000+000	1.9928502-004	2.0998273-004	-3.4906713-001	0.0000000+000	7.1054274-015
7.8238578-002	-0.0000000+000	8.0641851-002	2.7478584-003	-3.4329777+000	1.1368684-013	1.1368684-013
9.7996706-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	-1.0403047-001	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
-9.6468436-005	-0.0000000+000	3.2212054-006	1.4179710-004	-8.9441709-002	1.7763568-015	0.0000000+000
-9.0225333-003	-0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	-6.6239128-003	-9.0949470-013
-2.4961419-002	-0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	2.3687166-002	-1.5160283-002

STEM MATRIX B

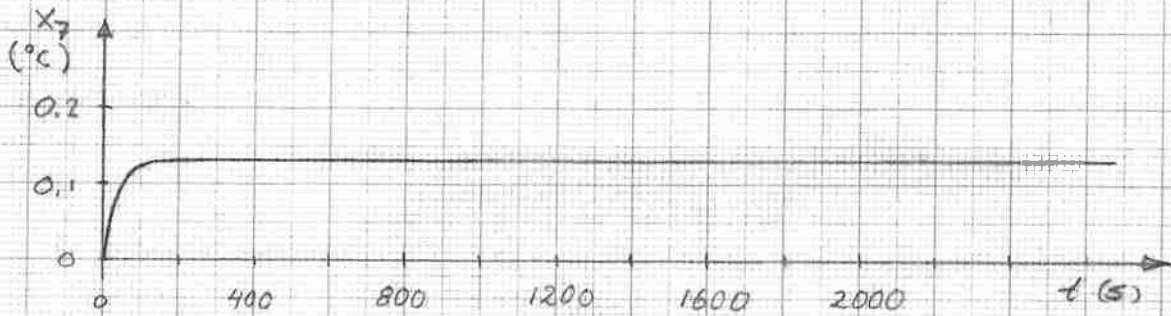
0.0000000+000	4.3876121-003	5.9783991-003	-7.1054274-015	0.0000000+000	6.6142311-002	0.0000000+000
0.0000000+000	1.1702936-004	5.5457128-005	-2.7755576-017	-4.4408921-016	-6.1355264-004	-1.3877788-017
0.0000000+000	-3.6567854-002	7.2571842-004	4.4408921-016	0.0000000+000	-8.0290212-003	2.2204460-016
5.4418215-005	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000	0.0000000+000
0.0000000+000	-8.8001781-006	1.1990800-005	6.9388939-018	1.1102230-016	-1.3266080-004	3.4694470-018
0.0000000+000	0.0000000+000	-6.1177579-003	1.5023339-004	5.6843419-014	6.7684114-002	8.8817842-016
0.0000000+000	0.0000000+000	-6.7305104-003	0.0000000+000	9.8791777-004	-1.3919851+000	2.5142635-005

EIGENVALUES OF MATRIX A

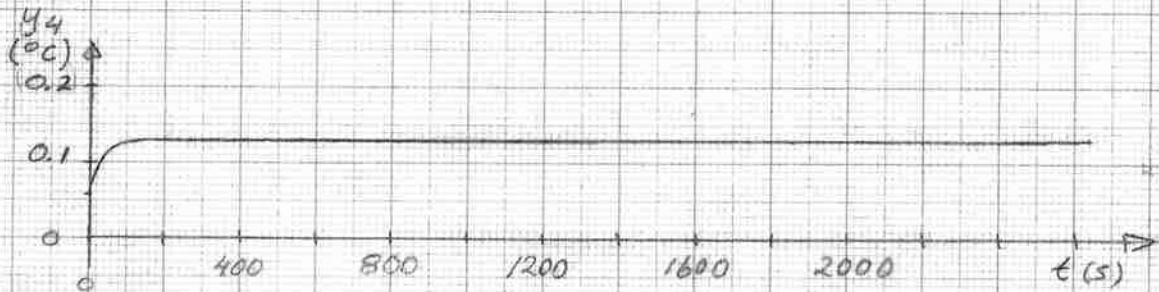
REAL PART	IMAGINARY PART
-2.4359073326-001	7.1119003833-015
-1.0426375004-001	1.0728859923-013
-7.6428065802-002	-1.1710854508-011
-6.6239154459-003	3.7236318294-009
-3.9245994466-003	-1.3248211707-010
-1.5160280779-002	-3.5907943286-009
0.0000000000+000	0.0000000000+000

Tillståndsvariablernas och utsignalernas stegsvar på steg i U_7 . Stegets storlek 80 kJ/kg $\approx 10\%$ av stationärt värde.

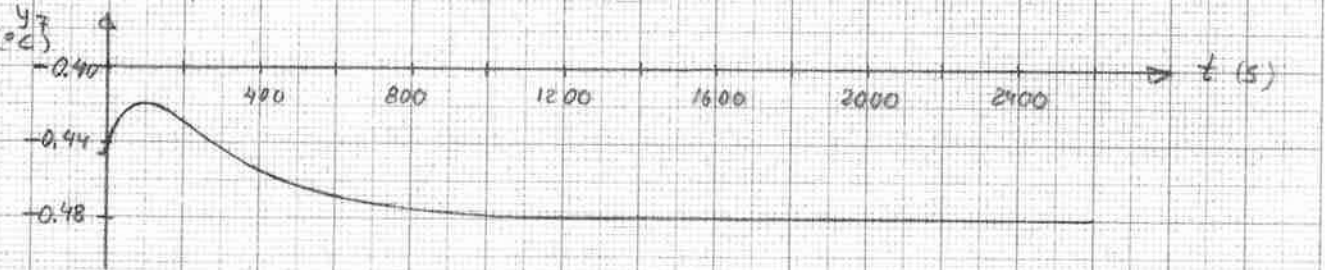
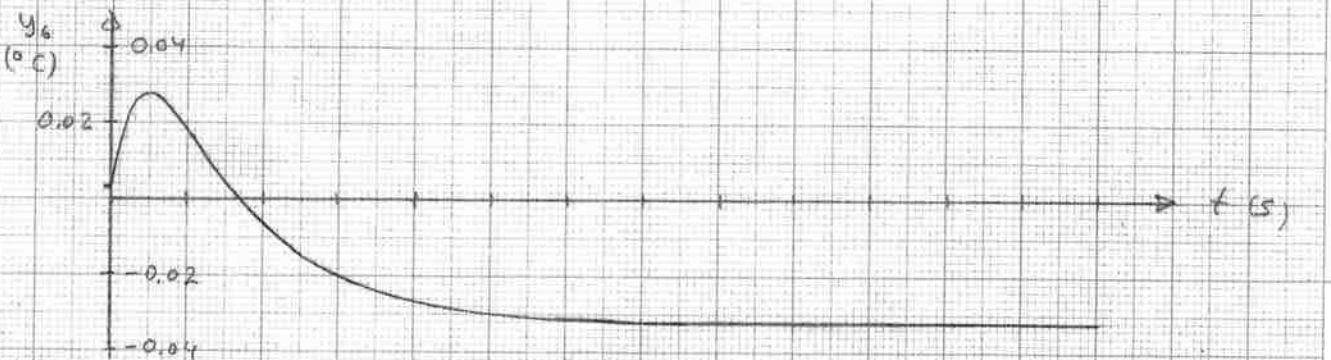
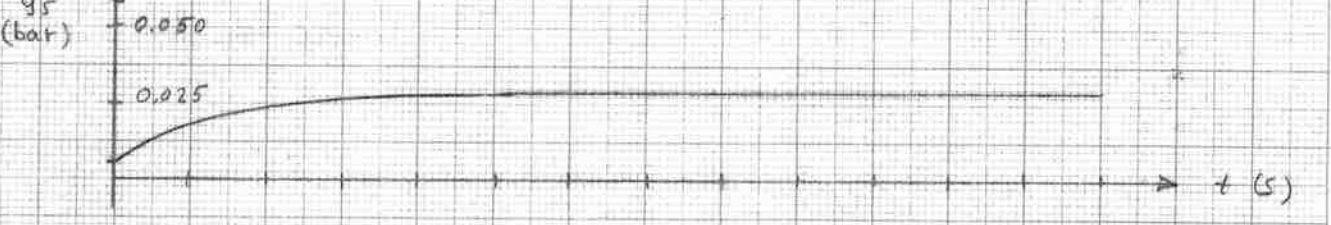
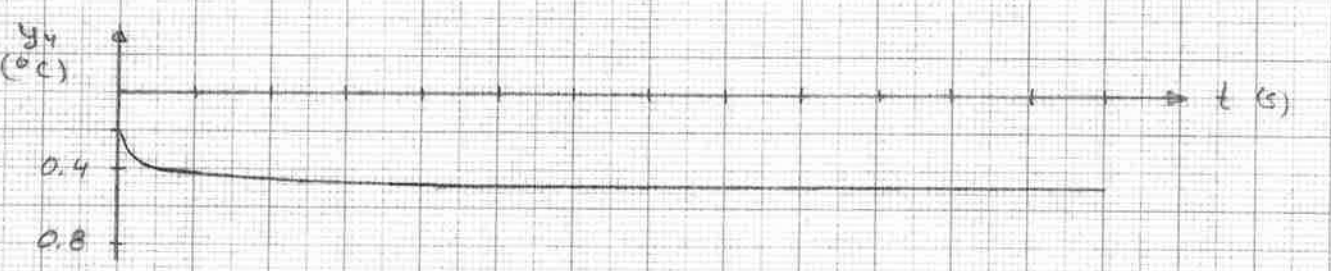
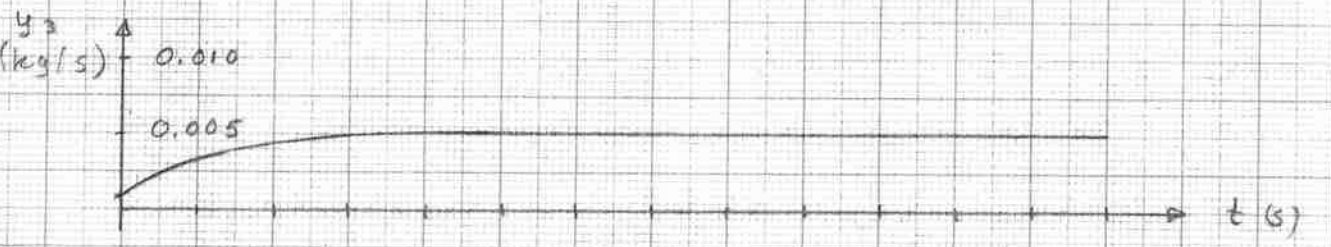
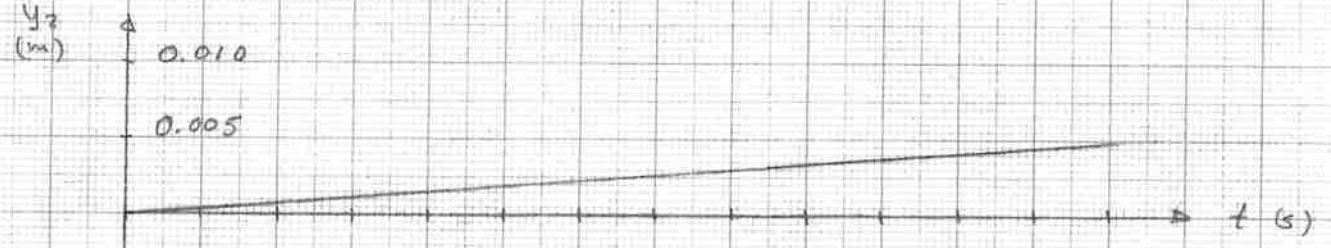
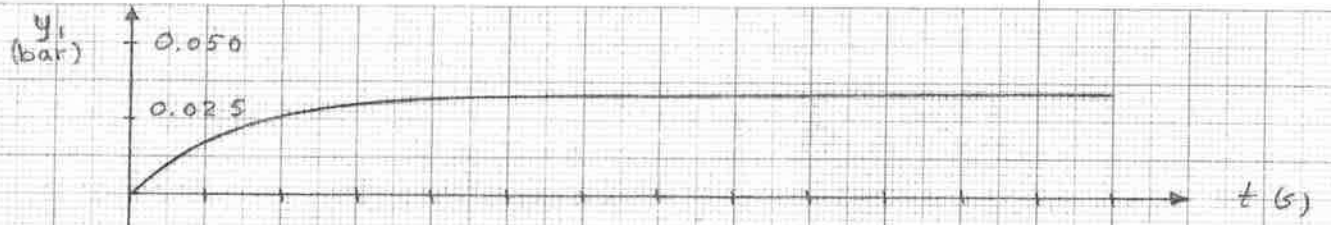
Tillståndsvariabel.



Utsignaler.

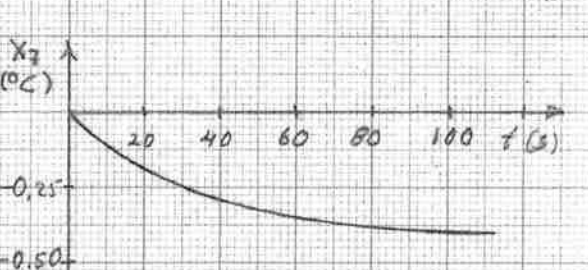
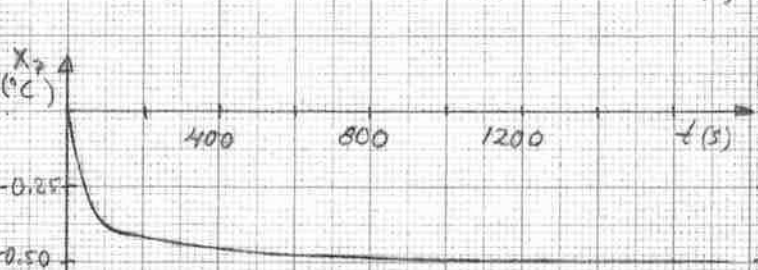
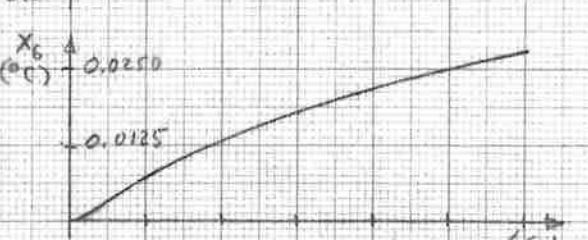
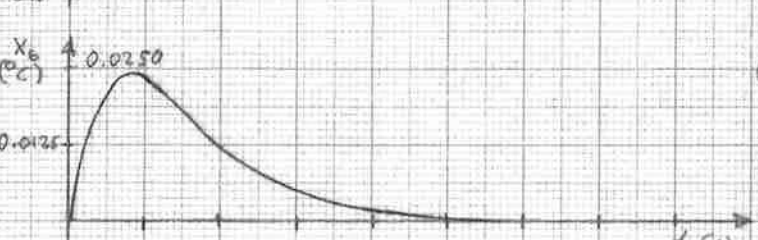
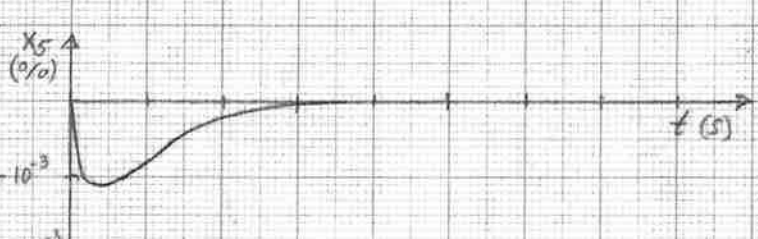
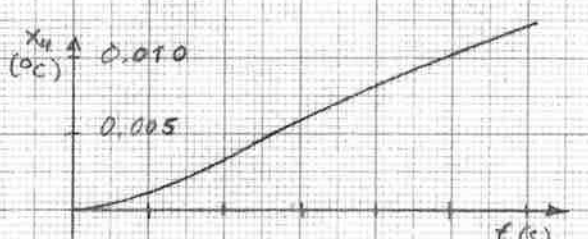
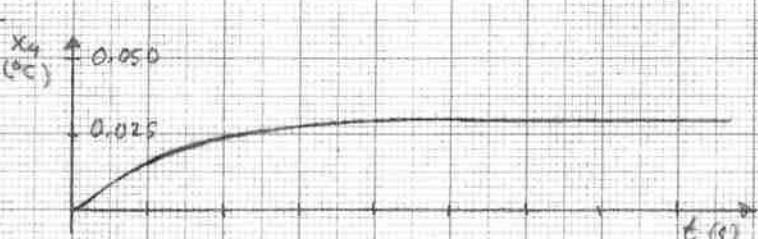
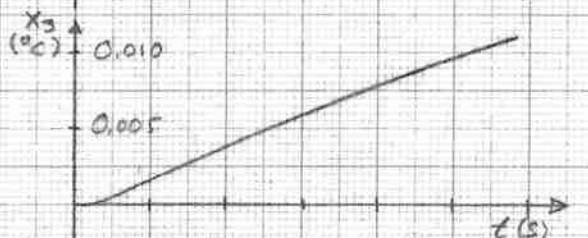
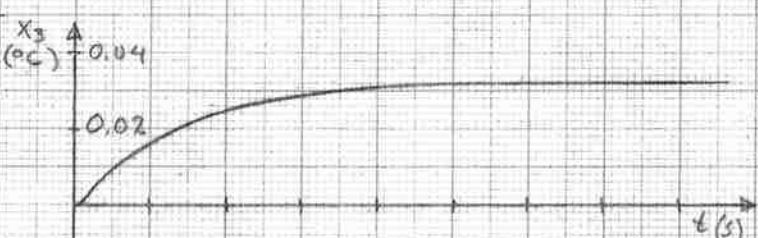
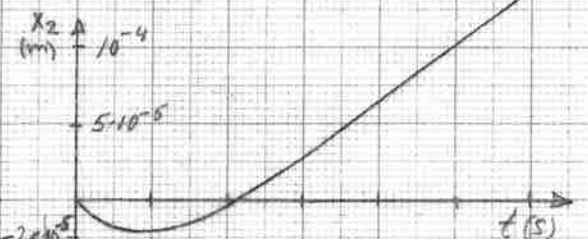
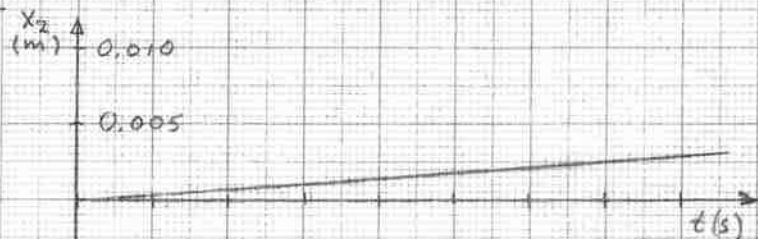
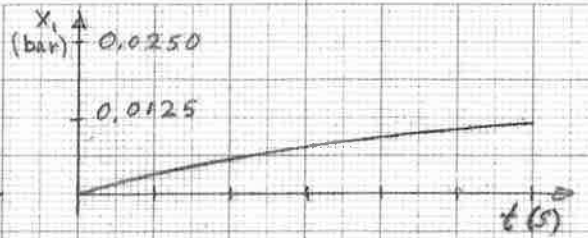


Utsignalernas stegsvar på steg
 i U_6 . Stegets storlek $5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$
 $\approx 10\%$ av stationärt värde



13.23.01 - 243.AT - 1 x 1 (101)

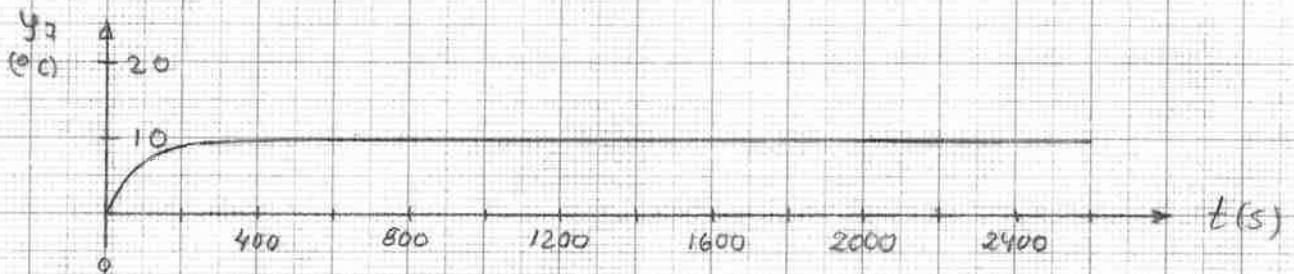
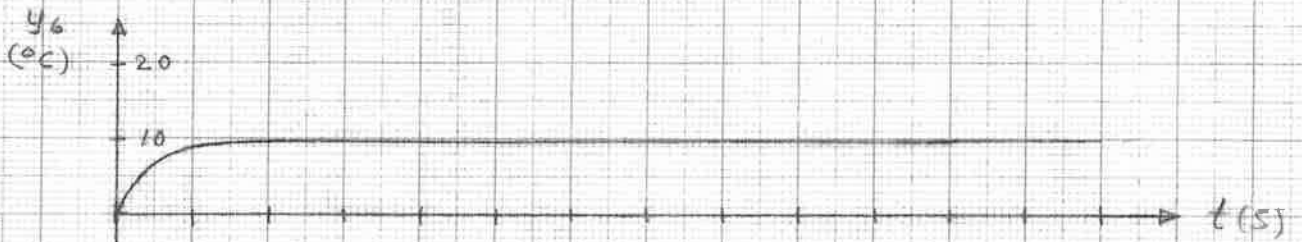
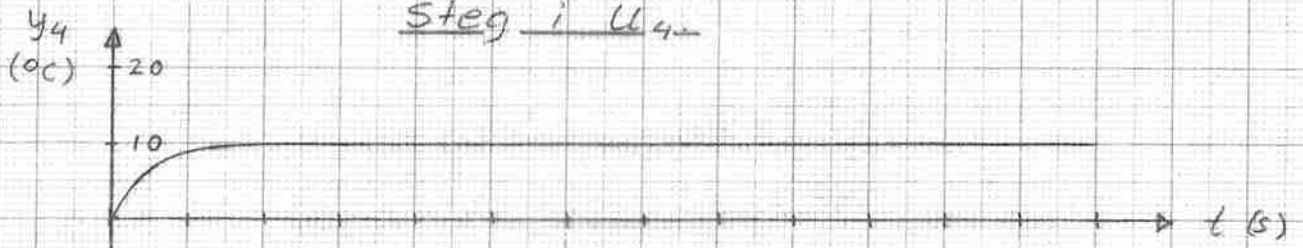
Tillståndsvariablernas stegsvar på steg i U_6 . Stegets storlek $5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s} \pm 10\%$ av stationärt värde.



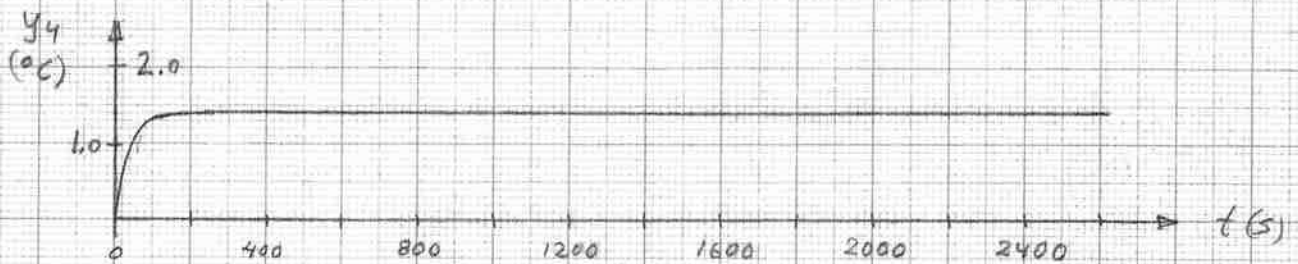
Begynnelseförlopp.

Utsignalernas stegsvar på steg i U_4 och U_5 . Stegens storlek 280 kJ/s resp. 40 kJ/s, båda $\approx 4\%$ av stationärt värde.

Steg i U_4

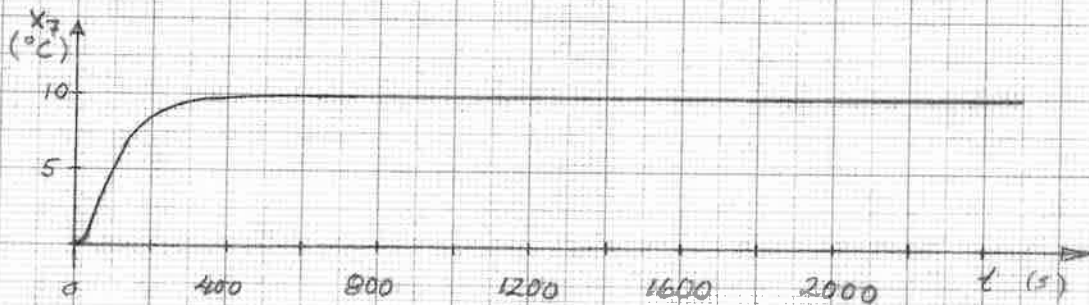
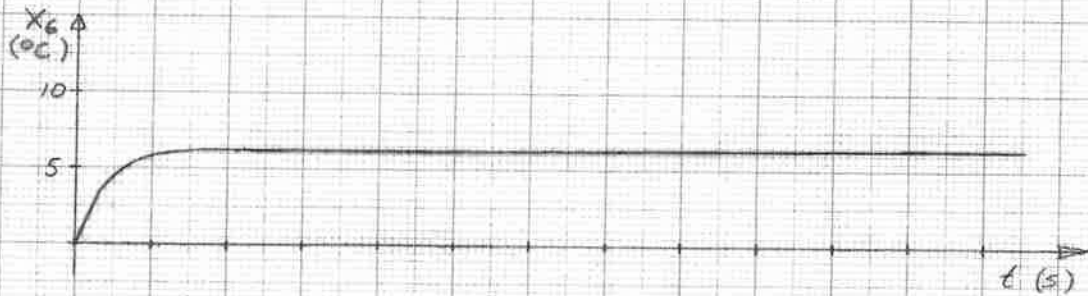


Steg i U_5

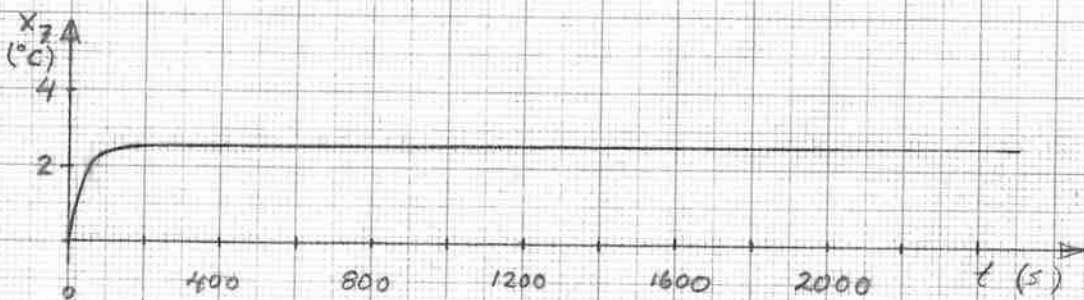


Tillståndsvariablernas stegvar
på steg i U_4 och U_5 . Stegens
storlek 280 kJ/s resp. 40 kJ/s,
båda $\approx 4\%$ av stationärt värde.

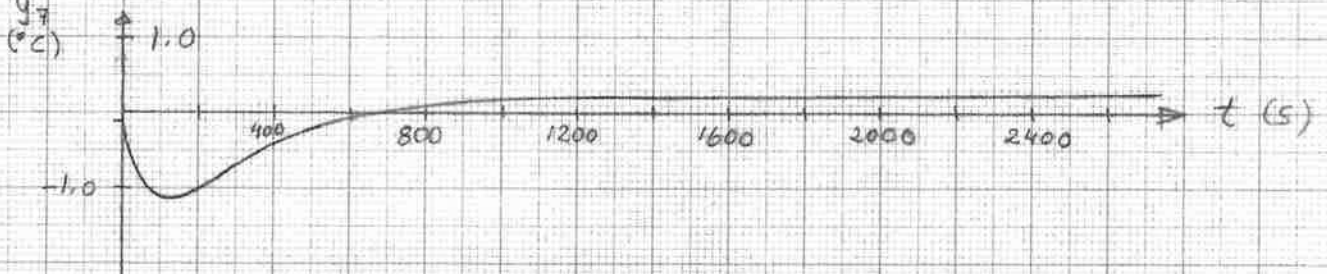
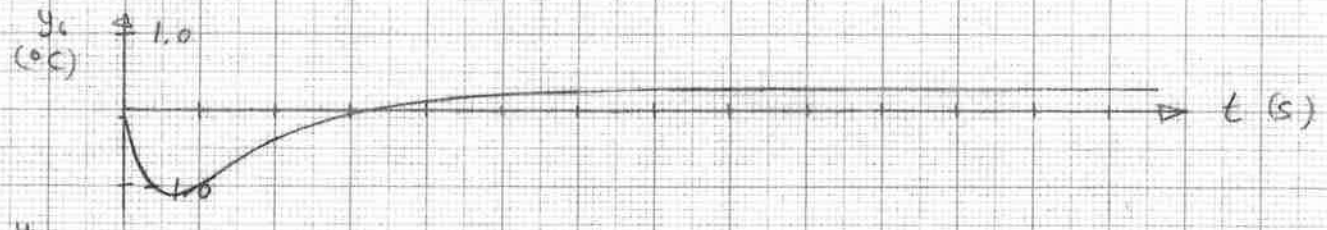
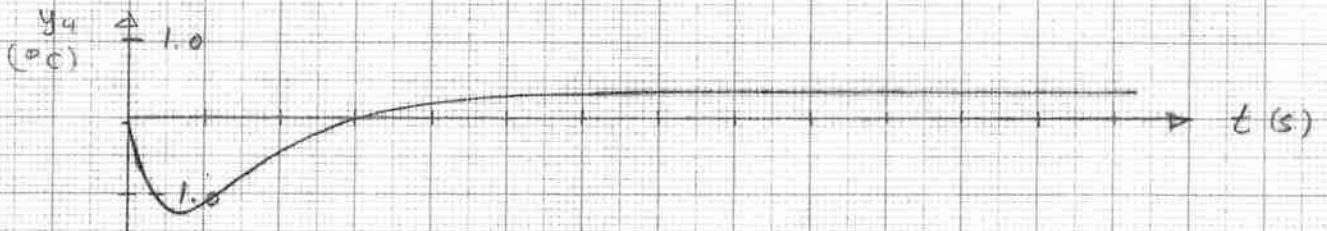
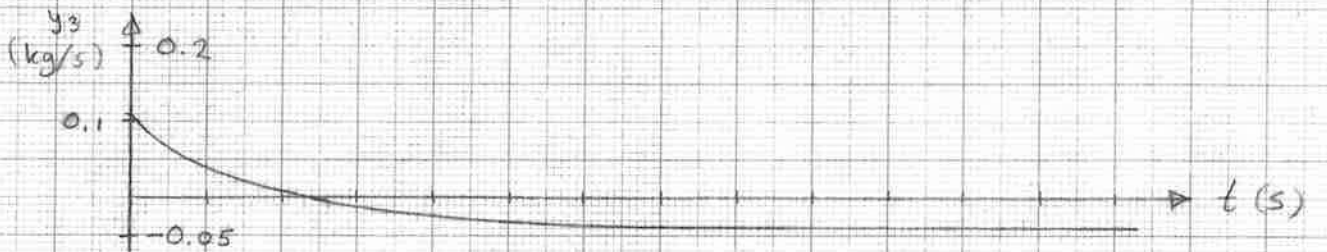
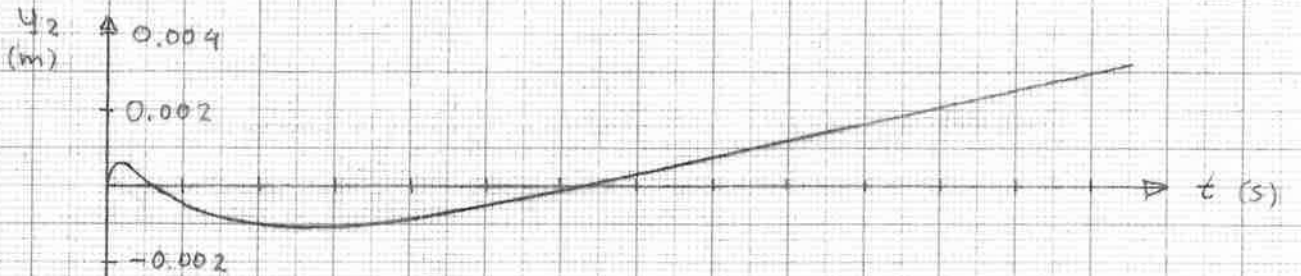
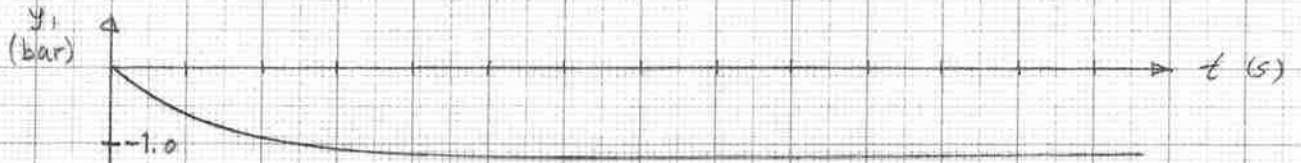
Steg i U_4



Steg i U_5

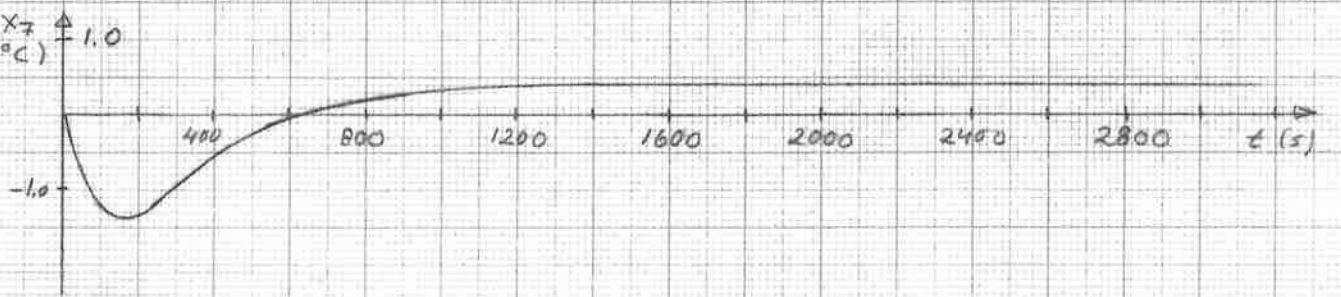
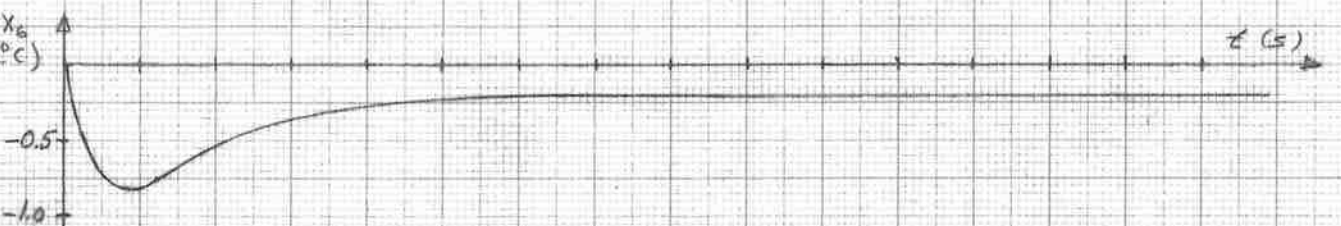
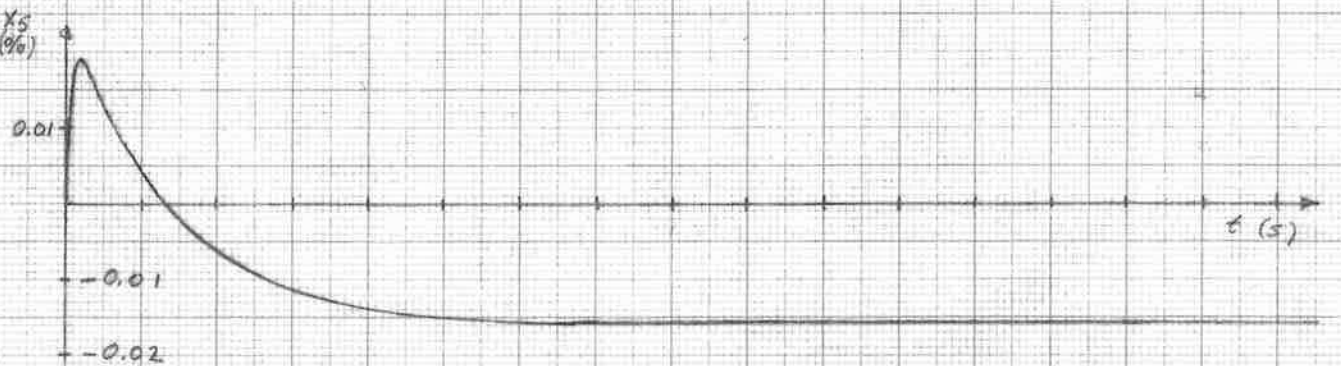
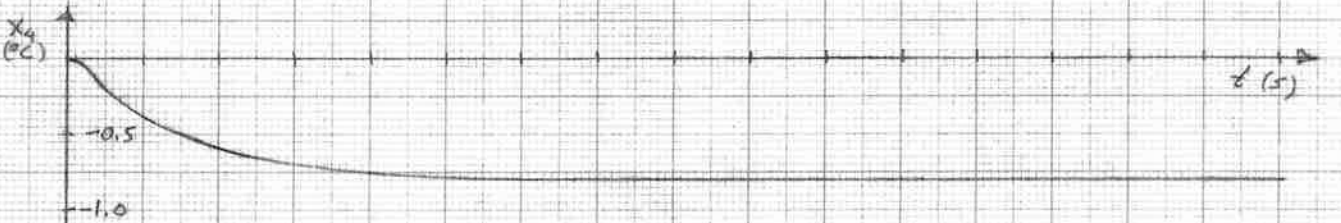
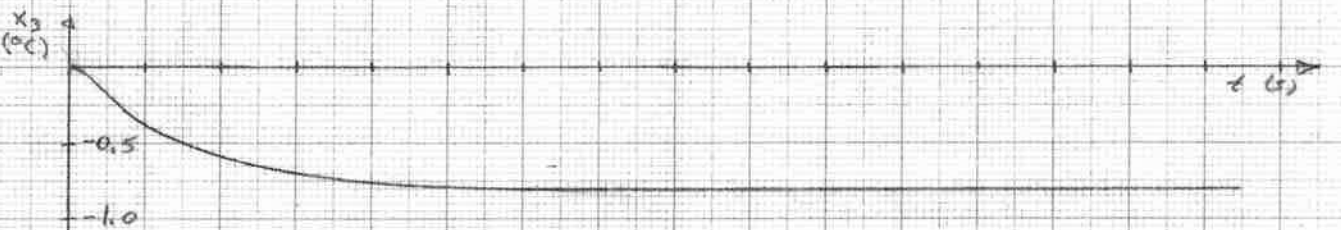
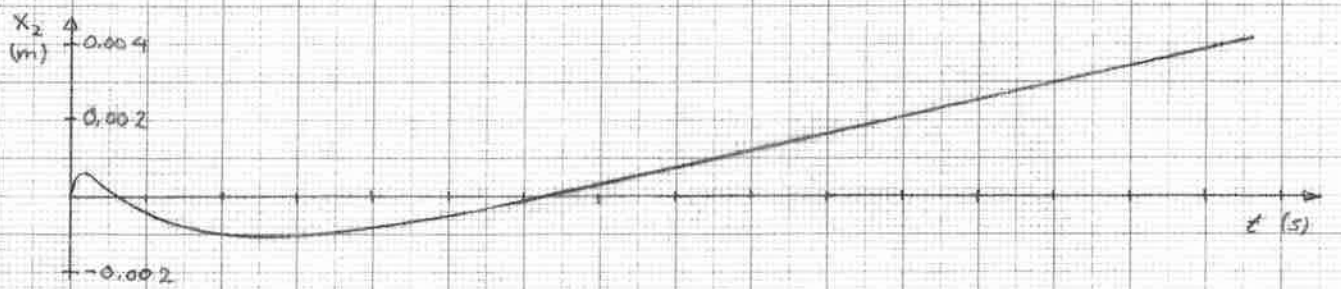


Utsignalernas steg svar på steg i u_3 . Stegets storlek $1.5 \cdot 10^{-5} \text{kgm} \approx 5\%$ av stationärt värde

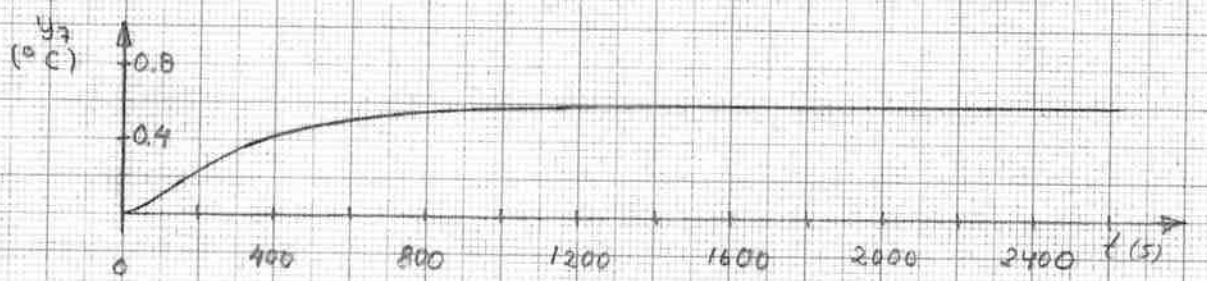
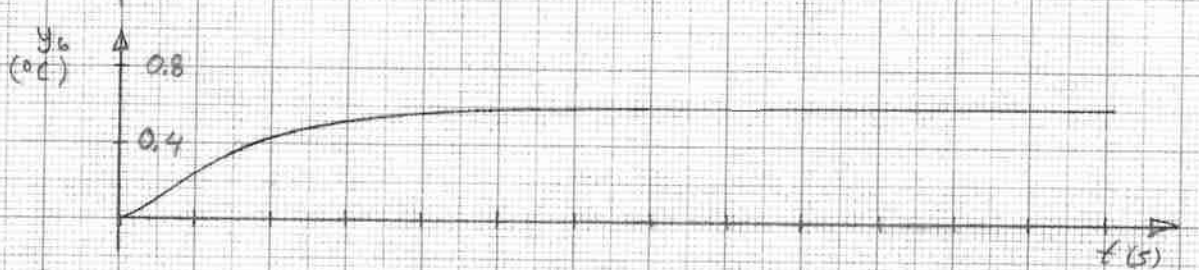
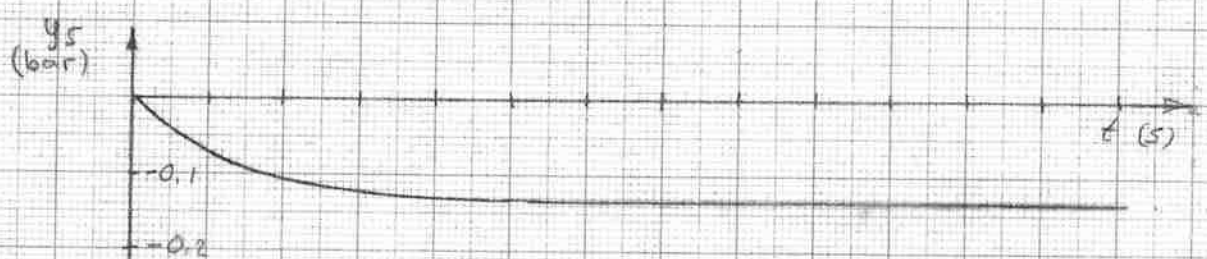
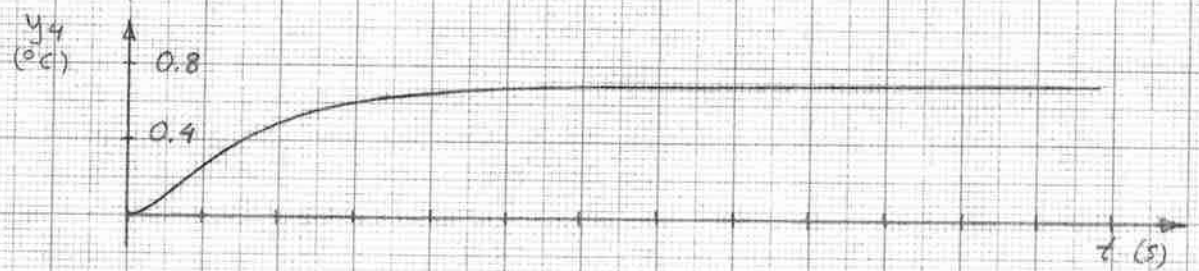
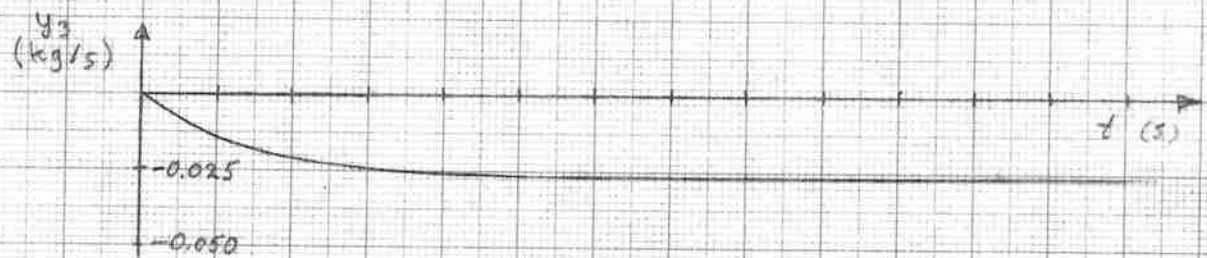
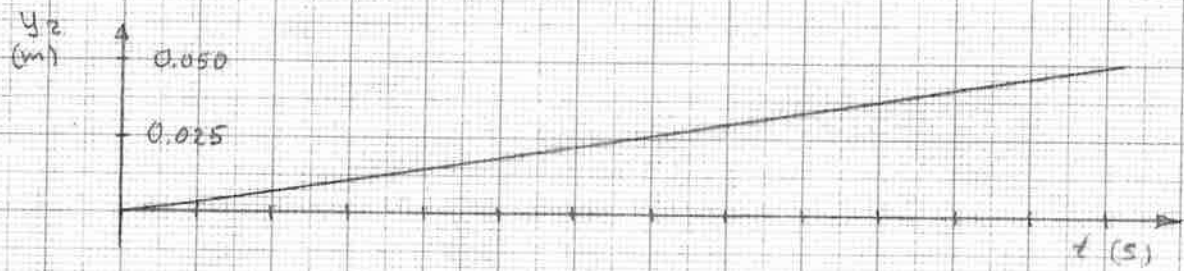


73 25 01 - 523 A4 - 1 x 1 mm

Tillståndsvariablernas stegsvar
 på steg i U_3 . Stegets storlek
 $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m} \approx 5\%$ av stationärt
 värde.

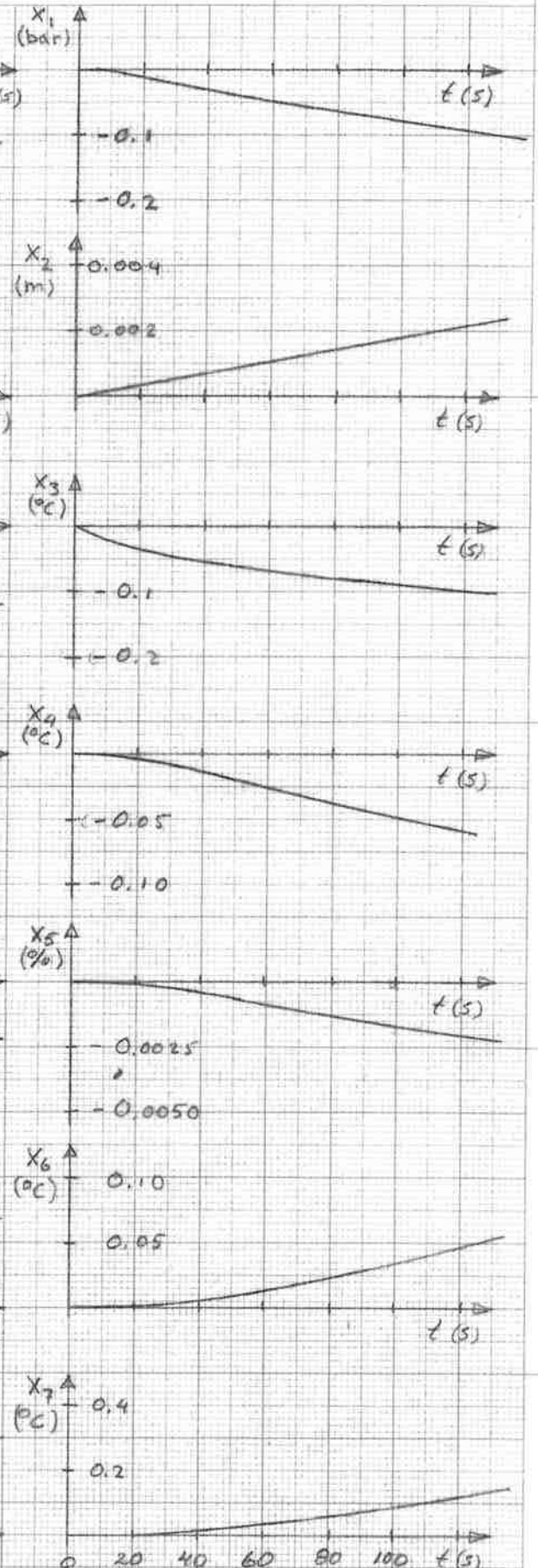
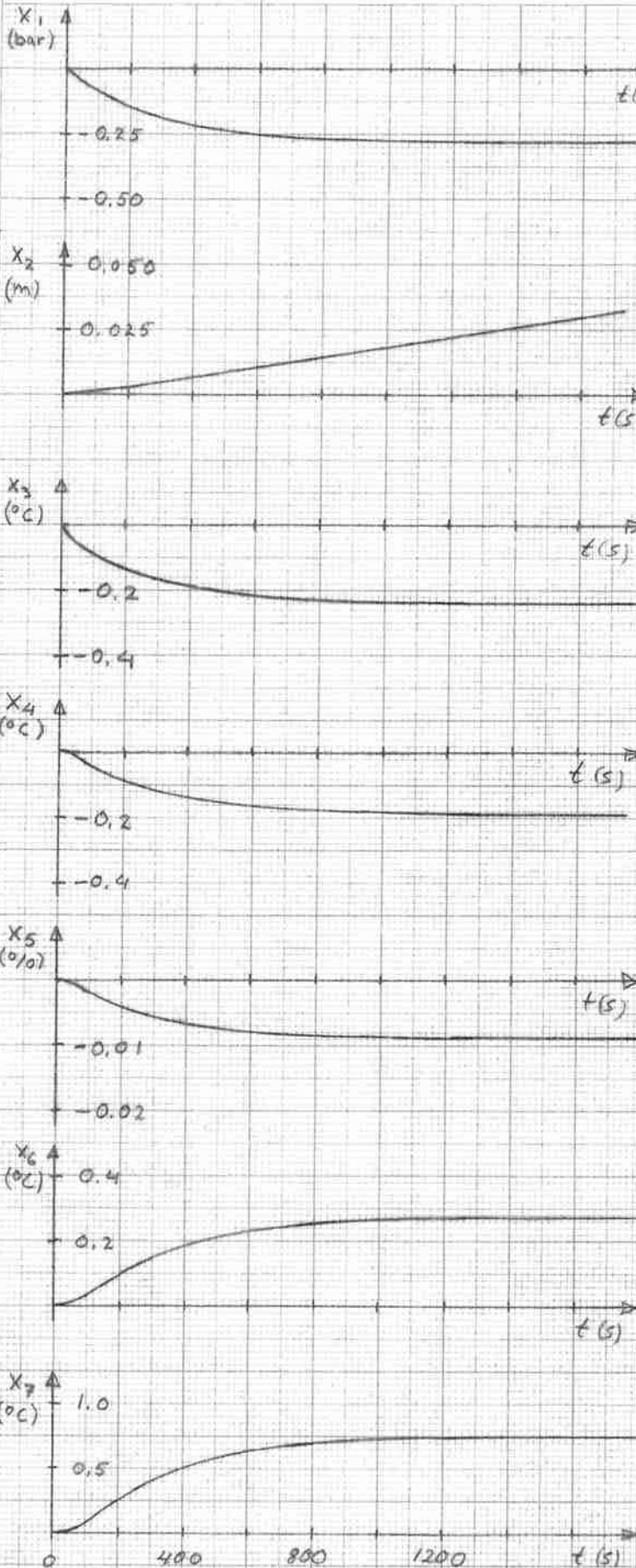


Utsignalernas stegsvar på steg i u_2 . Stegets storlek $0.1 \text{ kg/s} \approx 1\%$ av stationärt värde.



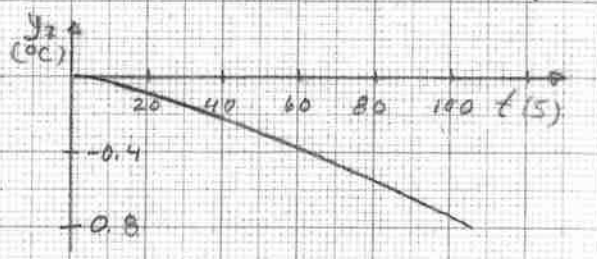
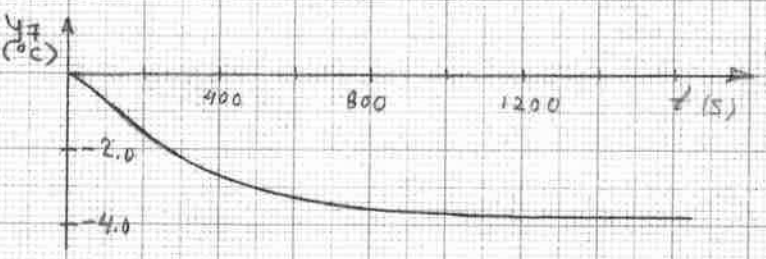
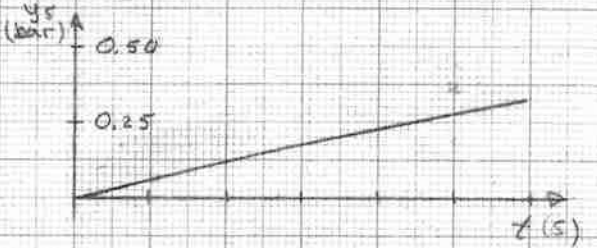
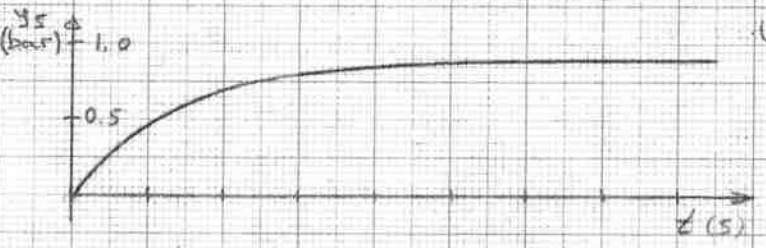
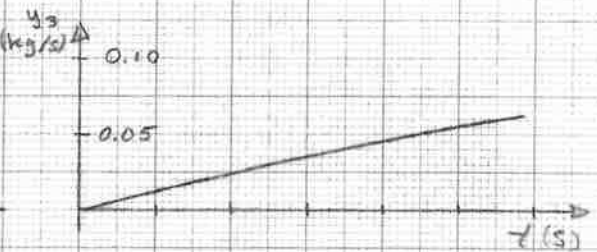
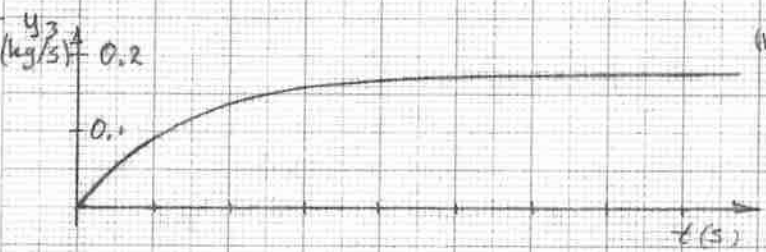
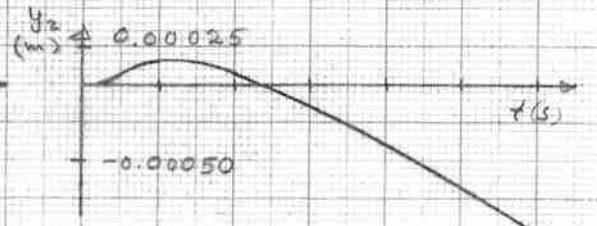
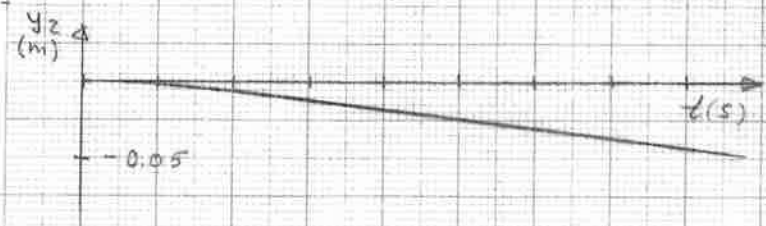
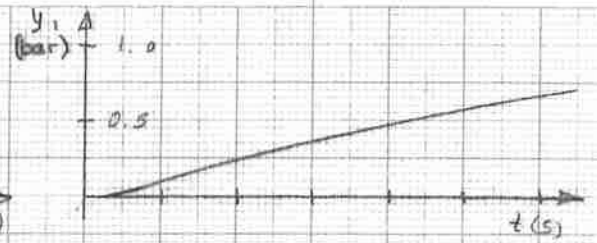
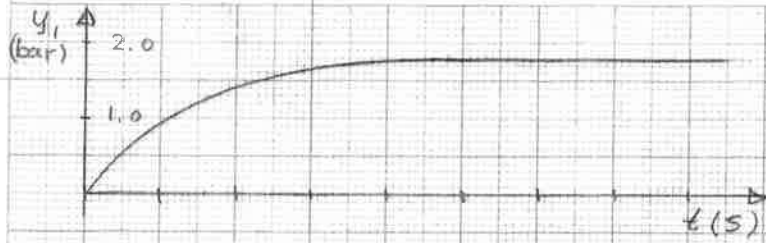
732501 - 243 A4 - 1 X - mm

Tillståndsvariablernas stegsvar
 på steg i u_2 . Stegets storlek
 $0.1 \text{ kg/s} \approx 1\%$ av stationärt
 värde.



Begynnelseförlopp.

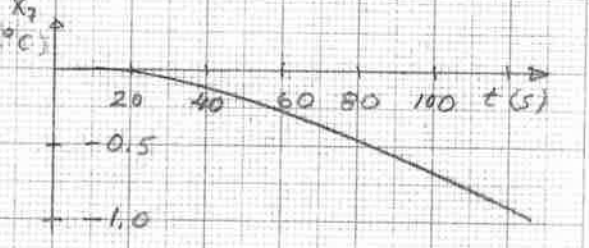
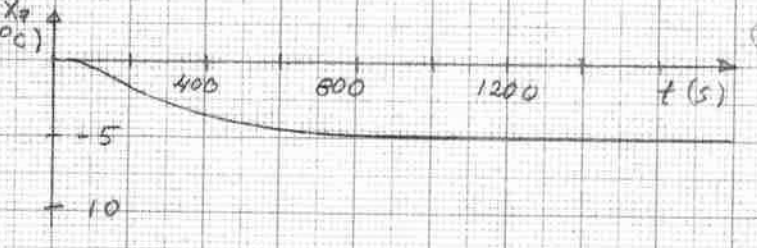
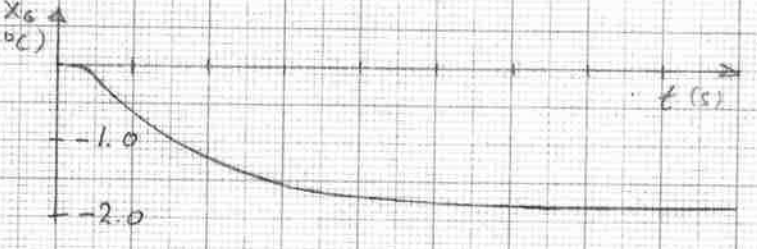
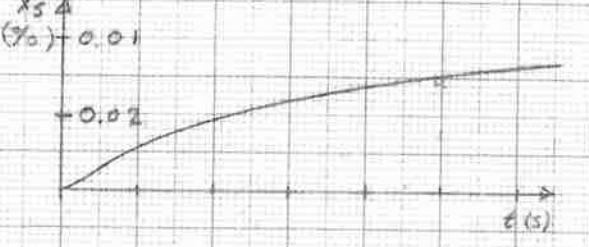
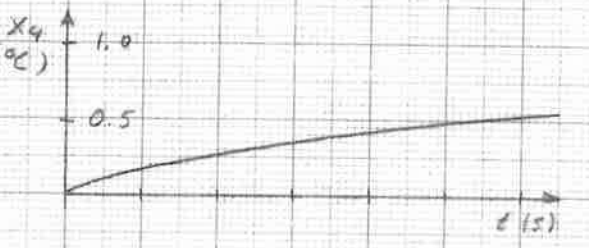
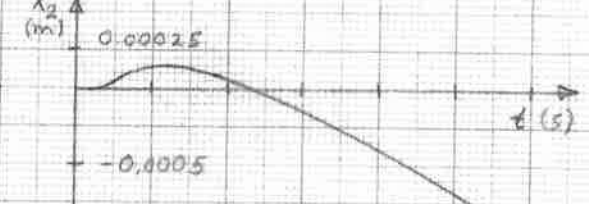
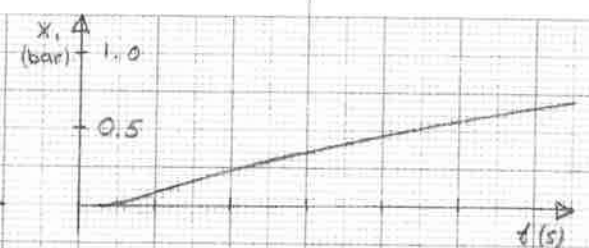
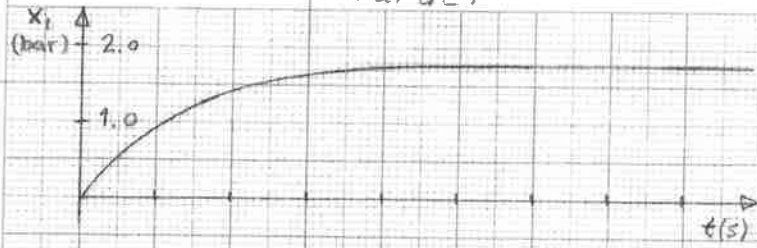
Utsignalernas stegsvar på steg i u_L . Stegets storlek $250 \text{ kJ/s} \approx 1\%$ av stationärt värde.



Begynnelseförlopp.

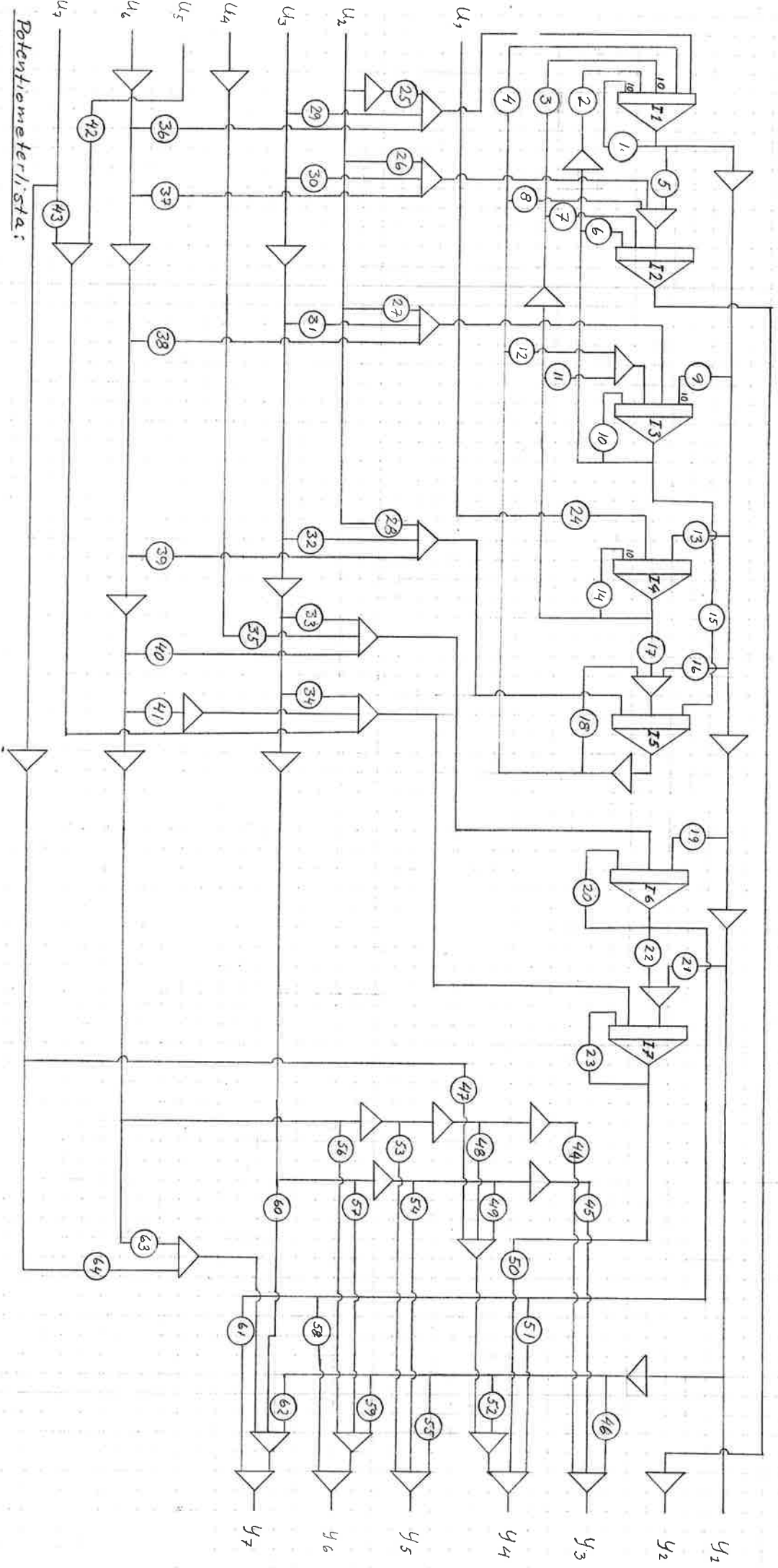
10 25 01 - 240 A4 - 1 x 1 mm

Tillståndsvariablernas stegsvar
 på steg i u_L . Stegets storlek
 250 kJ/s \approx 10% av stationärt
 värde.



Begynnelseförlopp.

Kopplingschema för simulering på analogmaskin



Potentiometerlista:

1: 0.1541	7: 0.2100	13: 0.4990	19: 0.0903	25: 0.0088	31: 0.1828	37: 0.0003	43: 0.0040	49: 0.0089	55: 0.7018	61: 0.7349
2: 0.2141	8: 0.6882	14: 0.1040	20: 0.1825	26: 0.0117	32: 0.0180	38: 0.0002	44: 0.0002	50: 0.2741	56: 0.0002	62: 0.2159
3: 0.1924	9: 0.1956	15: 0.0032	21: 0.2497	27: 0.1828	33: 0.0587	39: 0.0003	45: 0.0418	51: 0.3593	57: 0.0118	63: 0.0224
4: 0.0539	10: 0.8864	16: 0.2412	22: 0.4739	28: 0.0044	34: 0.0404	40: 0.0006	46: 0.1364	52: 0.1312	58: 0.7761	64: 0.0066
5: 0.0720	11: 0.1374	17: 0.7090	23: 0.3033	29: 0.0359	35: 0.2103	41: 0.0139	47: 0.0031	53: 0.0012	59: 0.2242	
6: 0.0399	12: 0.3433	18: 0.8944	24: 0.1359	30: 0.0166	36: 0.0007	42: 0.1976	48: 0.0105	54: 0.0914	60: 0.0110	