

UNIVERSITETI I PRISHTINËS

“HASAN PRISHTINA”

FAKULTETI I INXHINIERISË ELEKTRIKE DHE KOMPJUTERIKE



PUNIM DIPLOME

Ndikimi i vonesave kohore dhe i mostrave të humbura në kualitetin e rregullimit digjital

Mentori:

Prof. Ass. Dr. Lavdim Kurtaj

Kandidati:

Aid Bunjaku

Prishtinë, Dhjetor 2023

Abstrakt

Ky punim ofron një pasqyrë të sistemeve të kontrollit, duke përfshirë përkufizimin, evolucionin historik, aplikimet dhe avantazhet e sistemeve të kontrollit. Narrativa thellohet në zhvillimin e teorisë së sistemit të kontrollit, duke gjurmuar aplikimet e saj nga shekulli 20-të deri në epokën moderne. Fokus i veçantë i kushtohet sistemeve digjitale të kontrollit, duke përshkruar shndërrimin e sinjaleve kontinuale në sinjale digjitale dhe realizimin e kontrollit duke përdorur rregullator analog dhe digjital. Diskutimi shtrihet në sfidat që lidhen me sistemet e kontrollit, duke ilustruar skenarë që përfshijnë vonesa kohore fikse, vonesa kohore variable dhe humbje të mostrave, së bashku me metodën e kompozimit të mostrave. Rezultatet tregojnë ndikimin e vonesave kohore dhe mostrave të humbura në kualitetin e rregullimit digjital. Ky eksplorim gjithëpërfshirës ofron njohuri mbi natyrën shumëdimensionale të sistemeve të kontrollit, duke theksuar rëndësinë e tyre në fusha të ndryshme.

Abstract

This work provides an overview of control systems, encompassing the definition, historical evolution, applications, and advantages of control systems. The narrative delves into the development of control system theory, tracing its applications from the 20th century to the modern era. A specific focus is given to digital control systems, exploring the conversion of continuous signals into digital signals and the realization of control using both analog and digital controllers. The discussion extends to the challenges associated with control systems, examining scenarios involving fixed time delays, variable time delays, and packet loss, along with the composition of packets. The results illustrate the influence of time delays and packet loss on the quality of digital signal processing. This comprehensive exploration provides insights into the multifaceted nature of control systems, emphasizing their significance in various domains.

Falënderime

Së pari, dua të falënderoj Zotin për udhëzimin dhe bekimin e Tij gjatë këtij rrugëtimi akademik. Pastaj, një falënderim dhe mirënjohje të sinqertë për prindërit dhe familjen time për mbështetjen e tyre gjatë gjithë këtyre viteve të studimeve.

Gjithashtu, një falënderim i veçantë për mentorin tim, prof. dr. Lavdim Kurtaj, për ndihmën dhe këshillimin e vazhdueshëm gjatë periudhës së studimeve fillimisht, pastaj edhe në zhvillimin e këtij punimi.

Po ashtu, falënderoj miqtë dhe kolegët për kohën dhe sugjerimet e tyre.

Përmbajtja

Abstrakt	1
Abstract.....	2
Falënderime	3
Përmbajtja	4
Lista e figurave.....	5
1. Hyrje	6
1.1. Hyrje	6
1.2. Definicioni sistemit rregullues	6
1.3. Historiku sistemeve të kontrollit.....	7
1.3.1. Teoria stabilitetit	7
1.3.2. Sistemet e kontrollit për rregullimin e shpejtësisë	7
1.3.3. Aplikimet e sistemeve të kontrollit gjatë shekullit XX	7
1.3.4. Aplikimet bashkëkohore të sistemeve të kontrollit	8
1.4. Konfiguracionet e sistemeve të kontrollit	8
1.5. Përparësitë e sistemeve të kontrollit	10
1.6. Sistemet digjitale të kontrollit	10
1.7. Sistemet rregulluese me rrjete komunikuese	11
1.8. Vonesat kohore.....	12
1.9. Modelimi vonesave kohore	14
1.9.1. Z Transformimet.....	14
2. Realizimi projektit	15
2.1. Shndërrimi sinjalit kontinual në digjital.....	15
2.2. Rregullimi me rregullator analog dhe digjital	16
2.3. Sistemi rregullues me vonesë fikse.....	18
2.4. Sistemi rregullues me vonesë variabile.....	21
2.5. Simulimi me vonesë variabile dhe humbje të mostrave.....	26
3. Përfundimi.....	33
Referencat	34
Shtojca A	35
Shtojca B.....	36

Lista e figurave

Figura 1.1. Skemë e thjeshtuar e një sistemi të kontrollit.	6
Figura 1.2. Sistemi rregullues pa riveprim.	9
Figura 1.3. Sistemi rregullues me riveprim.	9
Figura 1.4. Struktura e sistemit digjital të kontrollit.	10
Figura 1.5. Struktura e sistemit analog të kontrollit.	10
Figura 1.6. Një model i NCS [3].	12
Figura 1.7. Vonesat kohore që deformojnë sinjalin.	13
Figura 1.8. Vonesat kohore që nuk deformojnë sinjalin.	13
Figura 2.1. Skema për shndërrimin e sinjalit kontinual në digjital në Simulink.	15
Figura 2.2. Sinjali kontinual dhe sinjali digjital.	16
Figura 2.3. Sistemi rregullues me rregullator analog.	16
Figura 2.4. Sistemi rregullues me rregullator digjital.	17
Figura 2.5. Gjendja kalimtare e dy sistemeve.	17
Figura 2.6. Gjendja stacionare e sistemeve.	18
Figura 2.7. Struktura e sistemeve rregulluese.	19
Figura 2.8. Sistemi rregullues me vonesë kohore fikse.	19
Figura 2.9. Gjendja stacionare e sistemit.	20
Figura 2.10. Përgjigjja e sistemit me dhe pa vonesë kohore.	20
Figura 2.11. Blloku i vonesës.	21
Figura 2.12. Përgjigjja në dalje të sistemit për vlera të ndryshme të vonesës.	21
Figura 2.13. Blloku i vonesës variabile.	22
Figura 2.14. Skema e konfigurimit të vonesës variabile.	22
Figura 2.15. Numrat që gjenerohen nga gjeneratori.	23
Figura 2.16. Sinjali para dhe pas vonesës.	23
Figura 2.17. Sistemi rregullues me vonesë variabile në Simulink.	24
Figura 2.18. Gjendja stacionare e sistemeve.	24
Figura 2.19. Gjendja stacionare e sistemeve.	Error! Bookmark not defined.
Figura 2.20. Gjendja stacionare e sistemeve.	25
Figura 2.21. Sinjali në dalje të operatorit matematikor.	26
Figura 2.22. Blloku i switch-it.	27
Figura 2.23. Blloku konvertues.	27
Figura 2.24. Blloku nënsistemit.	28
Figura 2.25. Konfigurimi nënsistemit.	28
Figura 2.26. Skema që bën kompozimin e mostrës.	28
Figura 2.27. Grafi që shfaq humbjen e mostrave.	29
Figura 2.28. Skema e sistemit rregullues.	30
Figura 2.29. Gjendja stacionare e sistemeve.	31
Figura 2.30. Gjendja stacionare e sistemeve.	31
Figura 2.31. Gjendja stacionare e sistemeve.	32

1. Hyrje

1.1. Hyrje

Sistemet e kontrollit në kohën moderne gjejnë përdorim në shumë fusha; sistemet e ngrohjes dhe ftohjes së objekteve banuese dhe industriale, sistemet e ndriçimit, monitorimit dhe sigurisë. Në bujqësi, ato aplikohen në spërkatjen e tokës, mbjelljen, grumbullimin dhe klasifikimin e prodhimeve bujqësore. Gjithashtu gjejnë përdorim të zgjeruar në sektorin e prodhimit automobilistik, energjinë e ripërtërirë, automatizimin industrial, sektorin kimik, përpunimin e ushqimit, fushën e teknologjisë informative dhe sistemet e transportit. Nëse ndalemi dhe analizojmë, do të vërejmë se njeriu nuk është i vetmi dhe as i pari që ka konstruktuar sisteme automatike të kontrollit, pasi të tilla sisteme hasen edhe në habitate të tjera, ku njeriu nuk bën pjesë. Sisteme të shumta të kontrollit vërehen edhe te bimët dhe shtazët, por edhe te vet njeriu. Në esencë, ekziston një sistem rregullues që mbështetet në organe të caktuara për rregullimin e yndyrave dhe sheqernave në gjak. Këto janë vetëm disa shembuj të sistemeve të kontrollit që përjetojnë në kohën aktuale.

Po ashtu, kontrolli i sistemeve sociale dhe ekonomike mund të trajtohet përmes teorisë së kontrollit automatik. Me një teori të ngjashme të sistemeve të kontrollit automatik, mund të adresohen edhe çështjet në fushat sociale dhe ekonomike. Për shembull, investimet monetare mund të shërbejnë si parametër hyrës, ndërsa rezultati mund të përfshijë resurset kapitale apo ngritjen e totalit buxhetor.

1.2. Definicioni i sistemit rregullues

Një sistem i thjeshtë i kontrollit përbëhet nga pjesa e rregullimit dhe procesit, të cilat lidhen mes tyre për të arritur një produkt me vlera të dëshiruara, në vartësi të hyrjes së specifikuar. Një sistem i tillë i kontrollit është paraqitur në Figurën 1.1.

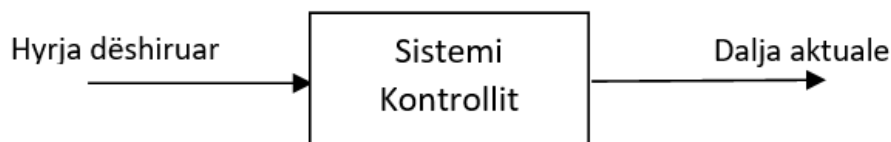


Figura 1.1. Skemë e thjeshtuar e një sistemi të kontrollit.

Për shembull, nëse dëshirojmë të rregullojmë temperaturën e dhomës së gjumit, kondicionerit ia caktojmë temperaturën 18°C. Përcaktimi i temperaturës 18°C është hyrja që përcakton daljen

tonë të dëshiruar. Ka disa karakteristika që tregojnë performancën e sistemit rregullues, por disa prej tyre që vërehen lehtë janë: gjendja kalimtare dhe gabimi në gjendje stacionare. Në shembullin tonë, gjendja kalimtare është koha që duhet kaluar që temperatura të arrijë vlerën 18°C , ndërsa gabimi në gjendje stacionare është vlera e temperaturës së dhomës pasi kalon gjendjen kalimtare, që në rastin tonë do të ishte zero nëse temperatura arrin vlerën e dëshiruar. Megjithatë, ka raste kur, edhe pse është përdorur sistemi rregullues, ende nuk arrihet vlera e synuar, duke rezultuar në gabim të gjendjes stacionare.

1.3. Historiku sistemeve të kontrollit

Më poshtë është paraqitur aspekti historik i disa koncepteve, teknikave dhe aplikimit të sistemeve të kontrollit.

1.3.1. Teoria stabilitetit

Koncepti i stabilitetit, së bashku me teorinë e sistemeve të kontrollit në formatin e njohur sot, përkufizimin e plotë e arritën pas gjysmës së dytë të shekullit XIX. Në vitin 1868, James C. Maxwell publikoi një shkrim mbi kriterin e konceptit të stabilitetit për sistemet e rendit të tretë, duke u bazuar në koeficientët e ekuacionit diferencial. Më pas, në vitin 1874, Eduard J. Routh, me sugjerimin e William K. Clifford, e zgjeroi kriterin, duke e bërë atë kompatibil edhe për sistemet e rendit të pestë. Në vitin 1877, Routh hartoi një punim mbi teorinë e stabilitetit, i njohur sot si kriteri i Routh-Hurwitz. Përveç këtyre, shkencëtari rus, Alexandr M. Lyapunov, gjithashtu kontribuo në zhvillimin e teorisë së stabilitetit [1]. Këto teori dhe përmirësime kontribuan në formimin e një baze teorike dhe matematikore për analizën dhe kontrollin e stabilitetit.

1.3.2. Sistemet e kontrollit për rregullimin e shpejtësisë

Nevoja për kontrollimin e shpejtësisë është shfaqur shumë herët. Në vitin 1745, një zhvillim shumë i rëndësishëm ishte zbulimi dhe aplikimi i sistemit të kontrollit të shpejtësisë në mullinj me erë nga Edmund Lee. Ky inovator i hershëm arriti të kontrollonte shpejtësinë e rrotullimit të helikave duke shfrytëzuar potencialin e fuqisë së erës. Përveç kësaj, gjatë shekullit të XVIII, James Watt kontribuo me inovacionin e një rregullatori kyç, i cili luajti një rol të rëndësishëm në kontrollimin e shpejtësisë së motorëve të avullit. Ky rregullator lejoi motorët të mbajnë një shpejtësi të qëndrueshme, duke sjellë një ndikim të rëndësishëm në efikasitetin e makinave të kohës [1]. Këto inovacione historike tregojnë përpjekjen e hershme për të kontrolluar dhe optimizuar shpejtësinë në mjediset industriale.

1.3.3. Aplikimet e sistemeve të kontrollit gjatë shekullit XX

Krahas përpjekjeve të shumta për automatizimin e drejtimit të anijeve, arritja e këtij synimi u realizua vetëm në fillim të shekullit XX. Në vitin 1922, kompania Sperry Gyroscope

ishte e para që implementoi një sistem drejtimi të automatizuar. Megjithatë, ndryshimet më thelbësore dhe kontributi kryesor në teorinë e kontrollit vjen nga hulumtimet e Nicholas Minorsky [1].

Nicholas Minorsky i atribuohet me shumicë teoria që sot përdoret për të përmirësuar performancën e sistemeve të kontrollit. Hulumtimet e tij teorike mbi automatizimin e drejtimit të anijeve dërguan në zhvillimin e kontrollerëve PID (Proportional-Integral-Derivative) [1].

Në periudhën nga viti 1920 deri në 1930, shkencëtarët Hendrik W. Bode dhe Harry Nyquist zhvilluan metodat e tyre, të njohura sot si metoda Bode-ut dhe Nyquist-it, respektivisht [1]. Këto metoda zënë një vend kyç në analizën frekuencore të sistemeve të kontrollit.

Në vitin 1948, shkencëtari amerikan Walter R. Evans, duke u marr me hulumtime në industrinë e avionëve, prezantoi një metodë të re grafike të analizës bazuar në paraqitjen grafike të rrënjëve të ekuacionit karakteristik [1]. Kjo metodë njihet sot si metoda e lokusit të rrënjëve dhe, së bashku me metodat e Bode dhe Nyquist, zënë një rol kyç në analizën dhe projektimin e sistemeve të kontrollit. Kontributet e tyre përbëjnë bazën e njohurive dhe metodave esenciale që sot përdoren në projektimin e sistemeve të kontrollit.

1.3.4. Aplikimet bashkëkohore të sistemeve të kontrollit

Sistemet e kontrollit, në kohën e sotme, luajnë një rol themelor dhe janë pjesë integrale e shumë fushave, duke përfshirë sektorë të ndryshëm si aviacioni, flota dhe transporti detar, sistemet ushtarake të mbrojtjes, si dhe sistemet raketore, duke shërbyer për navigim, drejtim dhe kontroll të proceseve. Këto sisteme gjithashtu gjejnë aplikim të gjerë në prodhimin e robotëve industrial, pajisjeve mjekësore dhe në sektorin e industrisë automobilistike.

Përveç aplikimit në shkencë dhe industri, sistemet e kontrollit gjenden gjithashtu në procese më të thjeshta, që janë pjesë e rutinës së jetës bashkëkohore. Këto përfshijnë sisteme të ngrohjes, ftohjes, monitorimit, sigurisë, ndriçimit, dhe të tjera të ngjashme. Kjo shtrirje e përdorimit të tyre nga lëmitë më komplekse deri te proceset më të zakonshme shënon një përdorim të gjerë dhe shumëdimensional të sistemeve të kontrollit në kontekstin e teknologjisë bashkëkohore.

1.4. Konfiguracionet e sistemeve të kontrollit

Dy konfigurimet kryesore të sistemeve të kontrollit janë: sistemi me riveprim dhe sistemi pa riveprim.

- **Sistemi pa riveprim:** Një strukturë e këtillë sistemi shihet në Figurën 1.2. Fillimisht, kemi hyrjen referente ose hyrjen e dëshiruar, pas së cilës vjen një rregullator që rregullon procesin (plant) përkatës. Në fund të kësaj strukture, kemi daljen, e njohur si përgjigjja në dalje të sistemit. Një rast konkret mund të jetë ngrohja e dhomës, ku si rregullator përdorim një kaldajë elektrike. Nivelet e kaldajës, që zakonisht janë një, dy,

ose tre, përbëjnë hyrjen referente në këtë rast. Përgjigja në dalje është nxehtësia e liruar nga kaldaja. Ky konfigurim quhet sistem rregullues pa riveprim, pasi veprimi i sistemit varet nga kushtet fillestare (hyrja referente) që janë caktuar. Në këtë mënyrë, nivelet e kaldajës nuk ndryshojnë sipas nevojës, por varen nga caktimi fillestar. Kjo do të thotë se në fillim, kur dhoma është e ftohtë, kaldaja mund të jetë në nivelin tre, dhe pastaj, pas një kohe, kur dhoma ngrohet, ajo do të mbetet në nivelin e njëjtë, pra nivelin tre. Ky sistem njihet si sistem pa riveprim dhe zakonisht përdoret në mjedise jokritike.



Figura 1.2. Sistemi rregullues pa riveprim.

- **Sistemi me riveprim:** Sistemin me riveprim e shohim në Figurën 1.3. Përveç hyrjes referente, rregullatorit, procesit dhe përgjigjes në dalje, kemi edhe një degë rivepruese, që e bën sistemin të mbyllur. Për të kuptuar më mirë, modifikojmë rastin e ilustruar më herët. Nëse në kaldajë vendosim një sensor temperature, që mat temperaturën e dhomës dhe, në bazë të saj, kaldaja përcakton nivelin kur duhet të jetë maksimal, minimal, apo edhe të fiket. Pra, nivelet e kaldajës ndryshojnë sipas nevojës. Kjo do të thotë se në fillim, kur dhoma është e ftohtë, kaldaja mund të jetë në nivelin tre, dhe pastaj, pas një kohe, kur dhoma ngrohet, ajo do të mbetet në nivelin një, apo do të fiket. Ky sistem quhet sistem me riveprim.

Avantazhi kryesor i sistemeve me riveprim është imuniteti i tyre ndaj zhurmave, pasi edhe nëse induktohen zhurma, sistemet me riveprim janë në gjendje t'i kompensojnë ato.

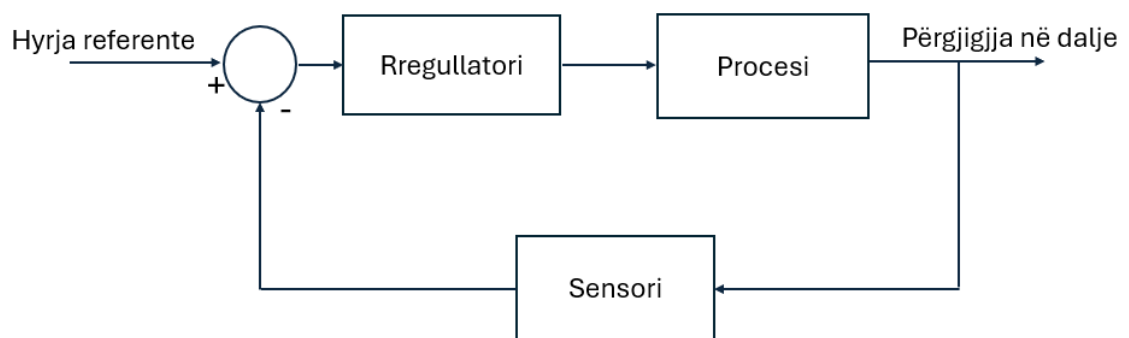


Figura 1.3. Sistemi rregullues me riveprim.

1.5. Përparësitë e sistemeve të kontrollit

Automatizimi i proceseve jetësore përmes sistemeve të kontrollit padyshim që ndikon në rritjen e efikasitetit të këtyre proceseve. Megjithatë, ky avantazh nuk konsiderohet si i vetmi i këtyre sistemeve. Rezultatet e studimeve tregojnë se këto sisteme kanë ndikuar në rritjen e performancës së fuqisë, pozicionit dhe shpejtësisë së proceseve që janë konfiguruar me sisteme kontrolli. Në spektrin praktik, funksionaliteti shumëdimensional i robotëve industrial është shumë i dukshëm. Përmes tyre është arritur zëvendësimi i paaftësisë njerëzore. Për shembull, në zona me nivel të lartë rreziku, të kontaminuara nga substanca eksplozive, mund të përdoren modele të specializuara të robotëve për të kryer operacione të rrezikshme. Në të njëjtën mënyrë, në mjedise të largëta apo me reliev të vështirë, mund të përdoren dron të ndryshëm për transport ose duke siguruar pamje lehtësojnë analizën dhe projektimin e aksioneve të nevojshme.

1.6. Sistemet digjitale të kontrollit

Zhvillimi i mikroprocesorëve dhe mikrokontrollerëve ka ndikuar që sistemet digjitale të kontrollit të fitojnë një popullaritet dhe rëndësi të veçantë në sektorin industrial. Ndryshe nga sistemet analoge të kontrollit, ku sinjalet janë kontinuale në çdo pjesë të sistemit, në sistemet digjitale të rregullimit, sinjalet në pjesën e rregullimit janë digjitale, ndërsa pjesa e procesit vazhdon të jetë analoge. Në disa raste, ndodh që pjesa e procesit është gjithashtu digjitale, megjithatë, këto janë raste të rralla.

Struktura e një sistemi digjital të kontrollit dhe atij analog paraqitet në Figurën 1.4 dhe Figurën 1.5.

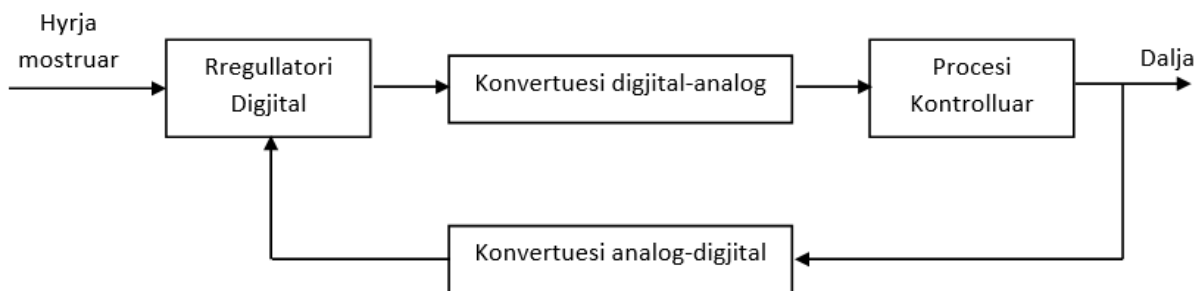


Figura 1.4. Struktura e sistemit digjital të kontrollit.

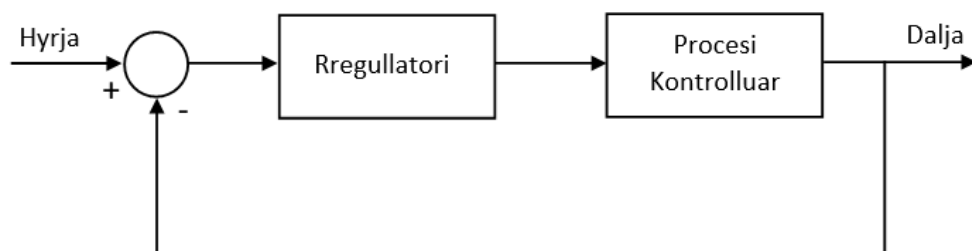


Figura 1.5. Struktura e sistemit analog të kontrollit.

Në sistemet analoge, rregullatori zakonisht është një qark elektrik ku sinjalet në hyrje, procesim dhe dalje të tij janë analoge. Përparësia kryesore e kësaj është që sistemi funksionon në kohë reale. Në një sistem digjital, kjo do të kërkonte një frekuencë të pafundme mostrimi. Megjithatë, si një disavantazh, konsiderohet fakti se karakteristikat e tij varen nga konstrukti harduerik, duke i bërë të vështira ndryshimet e mëvonshme, pasi ndërhyrjet eventuale duhet të jenë po ashtu harduerike. Mangësi tjetër konsiderohet efekti i deteriorimit gradual dhe ndjeshmëria ndaj ndryshimeve mjedisore, si dhe ndjeshmëria ndaj zhurmave [2].

Disa nga avantazhet e sistemeve digjitale të kontrollit janë renditur më poshtë [2]:

1. Komponentët digjital janë më pak të ndjeshëm ndaj deteriorimit gradual dhe ndryshimeve mjedisore.
2. Më pak ndjeshmëri ndaj zhurmave.
3. Procesorët digjital janë më kompakt dhe më të lehtë. Një mikroprocesor ose mikrokontrollerë me një çip mund të bëhet i fuqishëm dhe shumëdimensional në përdorim.
4. Kostot janë në rënie e sipër.
5. Fleksibilitet në konfigurim; nuk kërkohet ndonjë ndryshim harduerik.
6. Janë më të besueshëm.

Kurse si disavantazhe të sistemeve të kontrollit mund të konsiderohen [2]:

1. Kufizimet në shpejtësinë e llogaritjes dhe rezolucionin e sinjalit për shkak të kufizimit të kapacitetit memorues të procesorit digjital. Në të kundërtën, rregullatorët analog funksionojnë në kohë reale dhe me një rezolucion dukshëm më të mirë të sinjalit, pasi numri i mostrave është teorikisht i pafundmë.
2. Kufizimi në shpejtësinë e llogaritjes shkakton vonesa kohore në qarkun e kontrollit, gjë që mund të shkaktojë jostabilitet të sistemit.

1.7. Sistemet rregulluese me rrjeta komunikuese

Për shumë vite, studiuesit na kanë ofruar konfigurime të ndryshme të sistemeve të kontrollit, të cilat ishin të sakta dhe optimale, por buronin nga teoria klasike e kontrollit, duke filluar nga sistemet pa riveprim deri te konfigurimet e sofistikuar të bazuara në algoritme gjenetike. Megjithatë, inovacioni i rrjetave komunikuese bëri të vetën, duke prezantuar konceptin e kontrollit të sistemeve në distancë dhe duke sjellë një mënyrë të re strukturimi, të bazuar në rrjeta komunikuese. Këto sisteme njihen si Networked Control Systems (NCS), Figura 1.6. Definicioni klasik i NCS është: Kur një sistem tradicional i kontrollit me riveprim mbyllet përmes një kanali komunikues, i cili mund të ndahet me nyje të tjera jashtë sistemit të kontrollit, atëherë sistemi i kontrollit quhet NCS. Një NCS mund të përkufizohet gjithashtu si një sistem kontrolli me riveprim, ku degët rivepruese mbyllën përmes një rrjeti komunikues në kohë reale. Si risi e NCS mund të konsiderohet fakti që të dhënat mes komponentëve të sistemit shkëmbehen përmes një rrjeti komunikues [3].

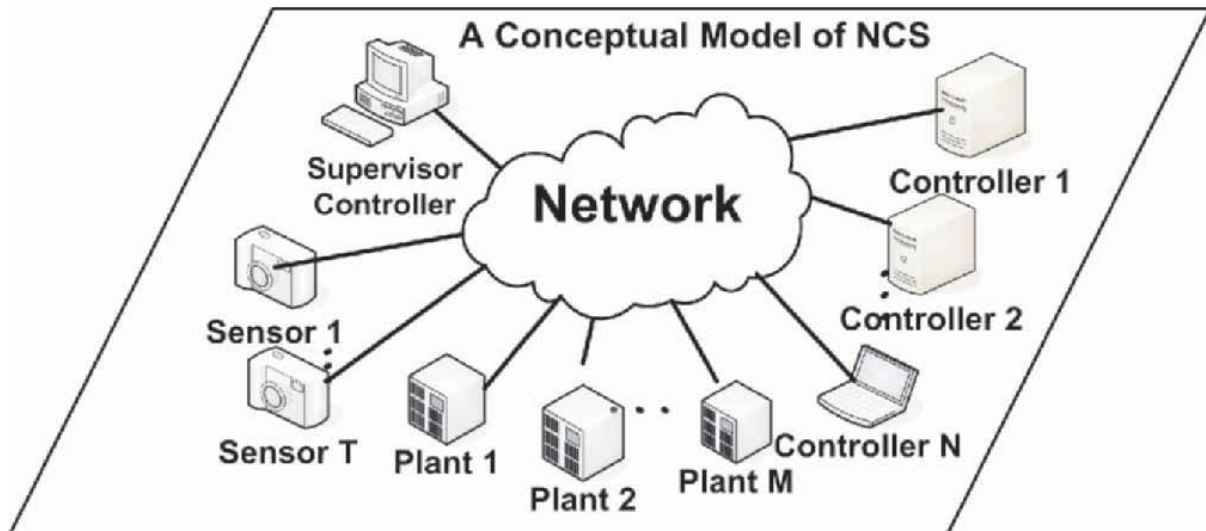


Figura 1.6. Një model i NCS [3].

Pavarësisht se projektuesit e sistemeve të kontrollit kanë ofruar konfigurime produktive, ato ende duhet të modifikohen dhe konfigurohen në varësi të mjedisit ku përdoren, në mënyrë që të kompensojnë vonesat kohore dhe paparashikueshmërinë [3].

1.8. Vonesat kohore

Komponentët e sistemit rregullues, përfshirë rregullatorin, aktuatorët, dhe sensorët, shkaktojnë vonesa kohore. Përveç kësaj, është e mundur që vonesat kohore të shfaqen edhe gjatë komunikimit mes këtyre komponentëve.

Në fillim, është e nevojshme të kategorizojmë vonesat kohore në dy grupet kryesore:

- **Vonesat që deformojnë sinjalin:** Këto janë vonesat që ndikojnë në formën dhe karakteristikat e sinjalit të sistemit. Ato shkaktojnë ndryshime në fazë, amplitudë, dhe spektrin e sinjalit. Vonesat e kësaj kategorie janë të tilla që ndikojnë në cilësinë e informacionit të transportuar nga sinjali dhe mund të kenë efekte negative në performancën e sistemit rregullues.
- **Vonesat që nuk deformojnë sinjalin:** Ky grup përfshin vonesat kohore që nuk shkaktojnë ndryshime në formën e sinjalit. Ato mund të kenë efekte të kufizuara në cilësinë e sinjalit dhe zakonisht janë më të lehta për t'u menaxhuar në kontekstin e sistemeve rregulluese.

Në Figurën 1.7 është paraqitur një shembull, ku një sinjal është i kompozuar nga dy komponentë me frekuenca të ndryshme. Njëri prej këtyre komponentëve ka një frekuencë të ulët, për shembull, 1 [rad/s], ndërsa tjetri ka një frekuencë më të lartë, 3 [rad/s]. Kur kalojnë nëpër një proces të caktuar këto dy komponentë nuk përjetojnë ndonjë deformim të sinjalit në vetvete, por ata përjetojnë vonesa kohore të ndryshme. Më konkretisht, komponenti i

frekuencës së ulët vonohet për 0.5 [s], ndërsa komponenti i frekuencës së lartë vonohet për 1.5 [s] gjatë kalimit nëpër këtë proces. Megjithatë, ndryshimi i rëndësishëm ndodh kur sinjali i përbashkët, i krijuar nga këta dy komponentë, kalon nëpër proces. Në këtë rast, sinjali i përbashkët do të ketë një formë të ndryshme nga komponentët e tij të përbërë, për shkak të ndryshimeve në fazat dhe vonesat kohore të tyre, që janë introdiktuar nga ky proces i përbashkët.

Ndërsa vonesat kohore të cilat nuk deformojnë sinjalin, Figura 1.8, kanë ndikim të njëjtë në të gjithë sinjalin dhe në të gjitha frekuencat e tij. Kështu, sinjali ruan formën dhe amplitudën e tij të pandryshuar, ndërkohë që vetëm shfazohet për një periudhë të caktuar kohore. Pavarësisht se në cilën pjesë të sistemit gjenerohet vonesa, ndikimi është i njëjtë. Në këtë mënyrë, ndërveprimi i këtyre vonesave ndikon në intervalin kohor midis hyrjes referente dhe përgjigjes në dalje.

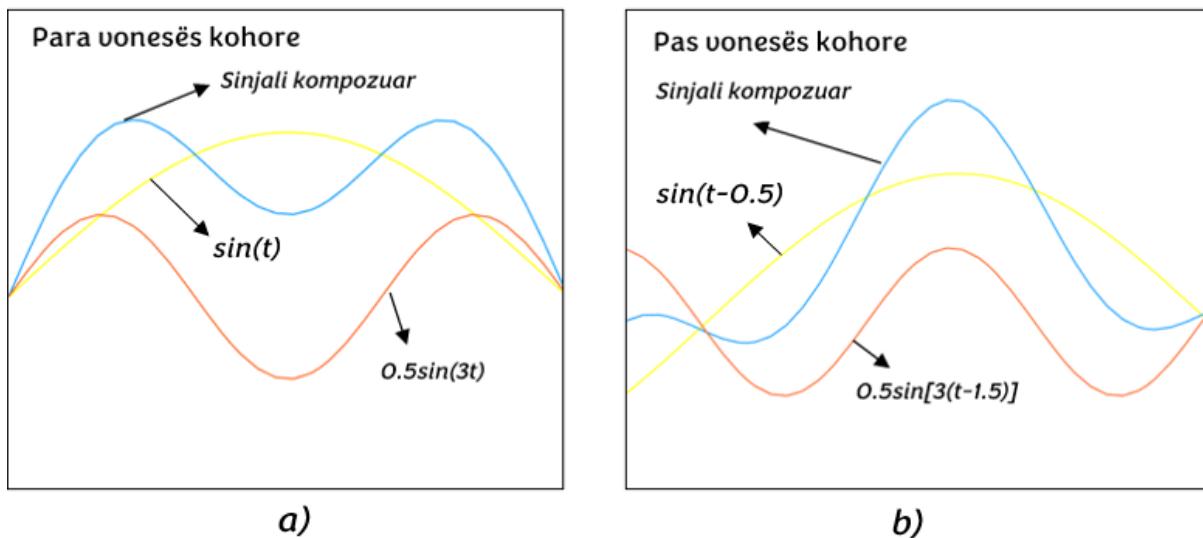


Figura 1.7. Vonesat kohore që deformojnë sinjalin.

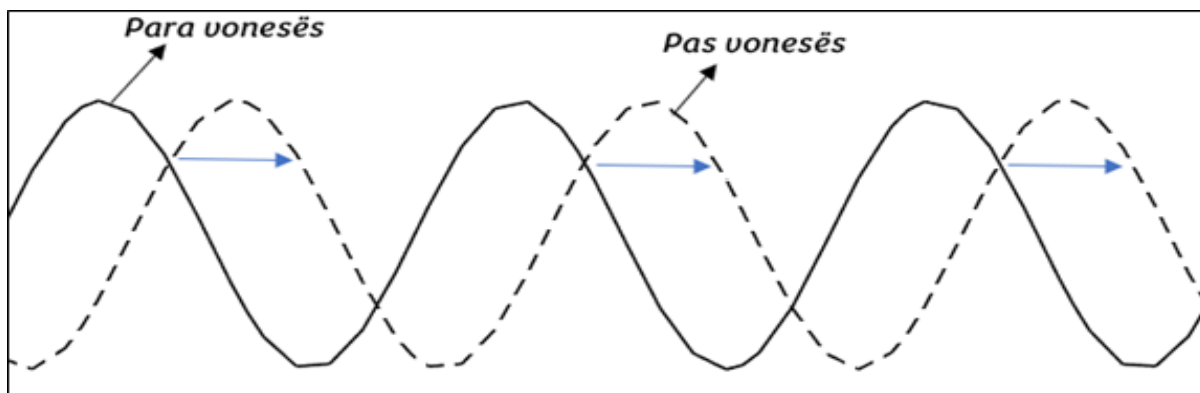


Figura 1.8. Vonesat kohore që nuk deformojnë sinjalin.

1.9. Modelimi vonesave kohore

Nisemi nga supozimi se hyrja e sistemit $G_p(s)$ është $R(s)$ dhe përgjigjja e tij në dalje është $C(s)$. Nëse sistemi tjetër $G(s)$ e vonon përgjigjjen në dalje për τ sekonda, atëherë përgjigjja në dalje është $c(t - \tau)$. Nga tabela transformimeve (Shtojca B), transformimi Laplasit, për $c(t - \tau)$ është $e^{-s\tau}C(s)$. Pra, për sistemin pa vonesë kohore, $C(s) = R(s)G_p(s)$, dhe për sistemin me vonesë kohore, $e^{-s\tau}C(s) = R(s)G_p(s)$. Nëse i pjesëtojmë këto dy ekuacione fitojmë, $G(s) / G_p(s) = e^{-s\tau}$ [1]. Kështu, sistemin me vonesë kohore τ mund t'a paraqesim me shprehjen:

$$G(s) = e^{-s\tau}G_p(s) \quad (1)$$

Efekti i futjes së vonesës kohore në një sistem mund të shihet edhe nga këndvështrimi i përgjigjës në domenin frekuencor duke zëvendësuar $s = j\omega$ në ekuacionin (1).

$$G(j\omega) = e^{-j\omega\tau}G_p(j\omega) = |G_p(j\omega)|\angle\{-\omega\tau + \angle G_p(j\omega)\} \quad (2)$$

Me fjalë të tjera, prania e vonesës kohore nuk e ndryshon funksionin transmetues; moduli i tij mbetet i pandryshuar, si me vonesë, ashtu edhe pa vonesë. Ndryshimi vërehet vetëm në pjesën e shfazimit, ku shtohet shfazimi i vonesës kohore $\omega\tau$.

1.9.1. Z Transformimet

Kur sinjalet kontinuale kalojnë në formën diskrete, atëherë një nga metodat që përdoret për analizën e tyre është Z-transformimet. Kjo metodë mundëson analizën e sinjaleve në domenin frekuencor. Nevoja ka bërë që të formohen tabela të transformimeve për disa nga format që janë më të zakonshme. Këto tabela përfshijnë transformimet elementare në domenin e kohës, Laplasit dhe Z, si dhe transformimet e tyre inverse.

Mirëpo, Z-transformimet nuk janë të mjaftueshme kur në sistem rregullues kemi edhe vonesa kohore. Prandaj, është paraqitur nevoja për të kaluar në Z-transformime të modifikuara. Kështu, për zgjidhjet manuale të sistemeve rregulluese që janë realizuar në rastin tonë të studimit, nevojiten Z-transformime të modifikuara.

Tabelat për disa transformime elementare janë paraqitur në Shtojcën A dhe Shtojcën B.

2. Realizimi projektit

2.1. Shndërrimi sinjalit kontinual në digjital

Shumica e të ashtuquajturave sisteme të kontrollit digjital zakonisht përmbajnë sinjale analoge dhe digjitale. Procesi i konvertimit të sinjalit është thelbësor pasi komponentët digjital dhe analog mund të ndërlidhen në të njëjtin sistem. Për shembull, sinjali dalës i një pajisje analoge, siç është një sensor analog, duhet t'i nënshtrohet një konvertimi nga analog në digjital (A/D) përpara se sinjali të mund të përpunohet nga një rregullator digjital. Ngjashëm, sinjali digjital duhet së pari të konvertohet nga digjital në analog (D/A) përpara se të dërgohet në një pajisje analoge për përpunim, zakonisht në formën e një rryme ose tensioni. Në kohët e sotme shumë mikroprocesorë dhe mikrokontrollerë të projektuar për qëllime kontrolli, kanë konvertuesit A/D dhe D/A brenda tyre.

Kur një sinjal tipik kontinual kalon në procesin e konvertimit në sinjal digjital, ndodh një transformim i strukturës së këtij sinjali. Sinjali kontinual është i pafund dhe qëndron në një brez të vlerave, ndërsa pas procesit të digjitalizimit, ai përcaktohet në disa vlera diskrete në funksion të kohës së mostrimit.

Grafi i sinjalit të digjitalizuar do të përbëhet nga një varg i pikave që ndjekin modelin e sinjalit origjinal kontinual. Këto pika do të jenë të ndara sipas kohës së mostrimit, apo siç njihet në anglisht sampling rate. Sa më shumë pikë të marrim, aq më preciz do të jetë grafiku i sinjalit të digjitalizuar në krahasim me versionin origjinal kontinual. Në Figurën 2.1 është paraqitur skema për shndërrimin e sinjalit sinusoidal kontinual në atë digjital, ku Zero-Order Hold luan rolin e mostruesit. Ndërsa, në Figurën 2.2, është paraqitur sinjali kontinual dhe ai digjital. Perioda e mostrimit ka qenë $T=0.25[s]$.

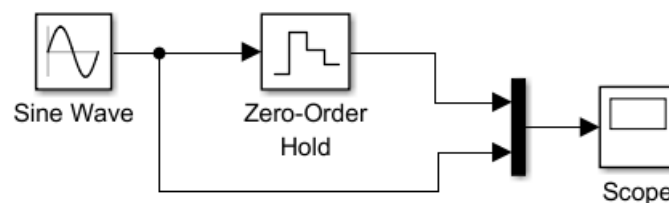


Figura 2.1. Skema për shndërrimin e sinjalit kontinual në digjital në Simulink.

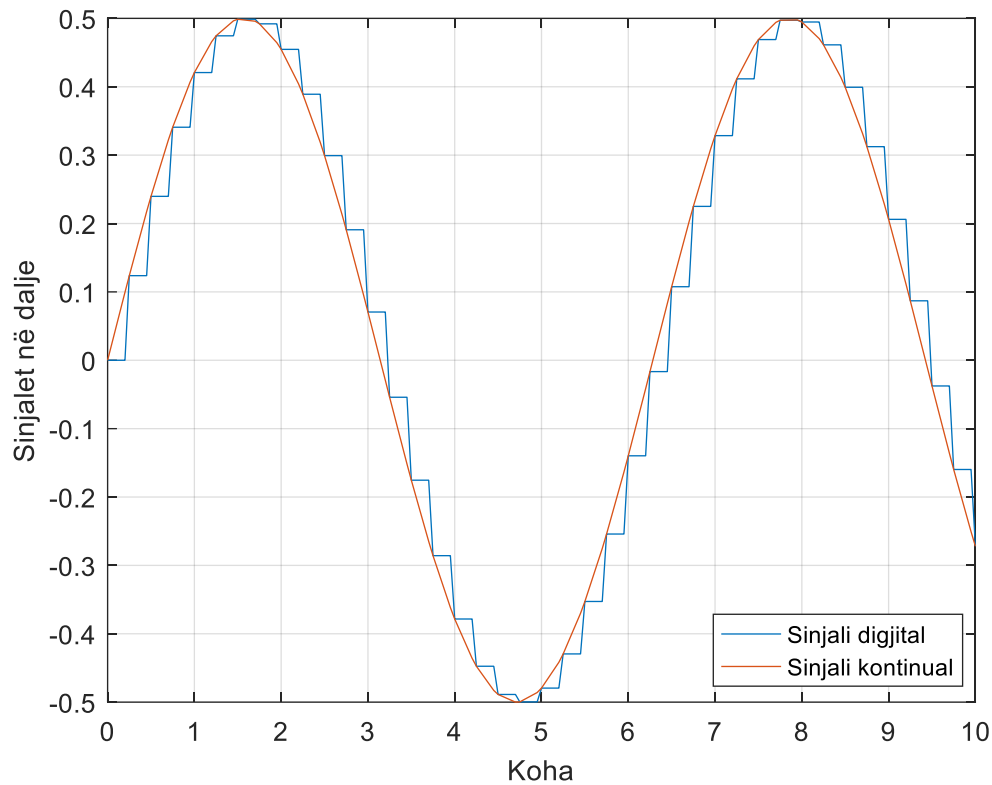


Figura 2.2. Sinjali kontinual dhe sinjali digjital.

2.2. Rregullimi me rregullator analog dhe digjital

Në kohën moderne, pjesa e rregullimit në sistemet e kontrollit, në shumicën e rasteve, realizohet me rregullator digjital, për dallim nga periudhat më të hershme kur ajo bëhej me rregullator analog. Kjo bëhet me qëllim të rritjes së performancës së vet sistemit rregullues.

Rezultati rregullatorit digjital, për dallim me atë analog, fitohet përmes një programi për të cilin nevojitet një kohë e caktuar për ekzekutim. Rrjedhimisht, kjo krijon një vonesë, e cila në termat e sistemeve të rregullimit është e njohur si vonesë kohore. Për të vlerësuar këtë dhe dallimet e tjera në përgjithësi mes rregullatorit analog dhe atij digjital, si dhe ndikimet e tyre respektive në sistem, kemi ilustruar një rast. Marrim dy sisteme rregulluese, ku pjesa e procesit ka të njëjtën strukturë, mirëpo dallojnë për nga ana e rregullimit. Në njërin është përdorur rregullator analog, ndërsa në tjetrin rregullator digjital. Në Figurën 2.3, është shfaqur sistemi rregullues me rregullator analog, ku në këtë rast është përdorur Rregullatori Proporcional.

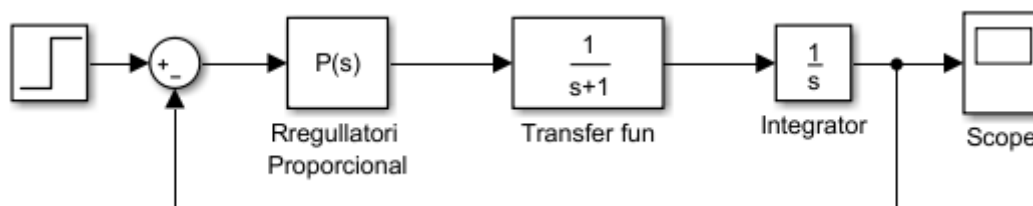


Figura 2.3. Sistemi rregullues me rregullator analog.

Figura 2.4 paraqet sistemin rregullues me rregullator digjital. Sinjali në hyrje fillimisht mostrohet përmes bllokut ZOH, procesohet në rregullator dhe pastaj ruhet në regjistër (ZOH1). Perioda e mostrimi është $T=0.1[s]$

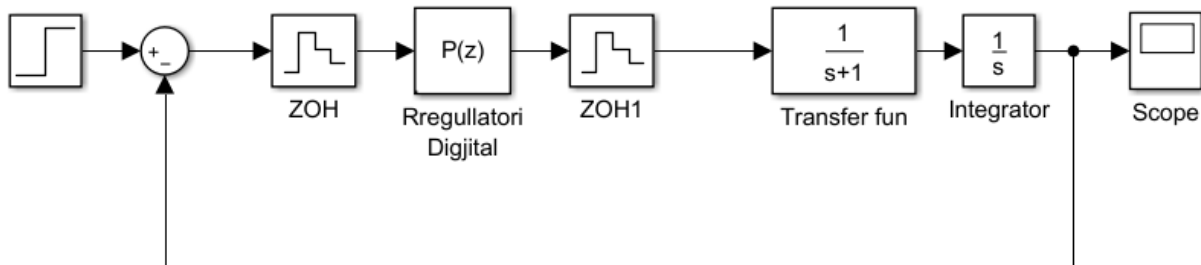


Figura 2.4. Sistemi rregullues me rregullator digjital.

Për të parë dallimet që shkaktojnë dy rregullatorët përkatës në pjesën e rregullimit të sistemit, janë përfshirë pamjet nga oshiloskopi. Rezultatet e oshiloskopit në Figurën 2.5 dhe Figurën 2.6 tregojnë se procesi i rregulluar me rregullator analog ka tejkalim maksimal¹ më të madh se ai digjital, edhe pse me një dallim relativisht të vogël.

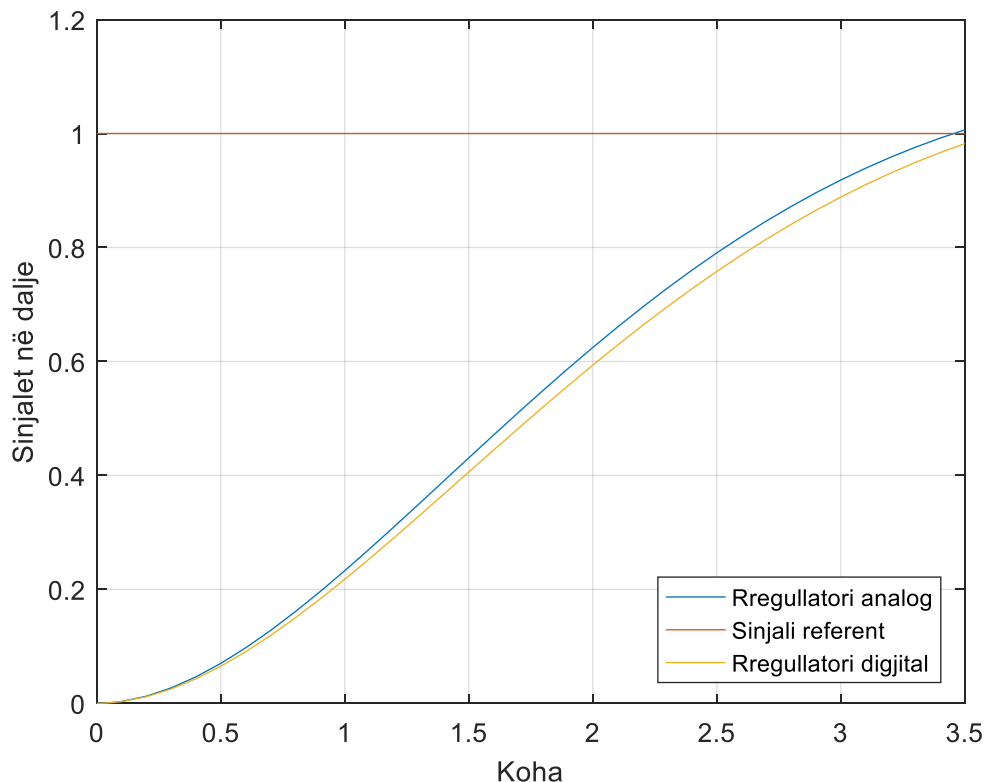


Figura 2.5. Gjendja kalimtare e dy sistemeve.

¹ Tejkalmimi maksimal është vlera maksimale që ka arrit sistemi ndaj vlerës së tij referente.

Ndërsa, në lidhje me kohën e vonesës², ngritjes³ dhe qetësimit⁴, rregullatori analog paraqet rezultate më të mira. Kurse gabimi në gjendje stacionare është i njëjtë në dy sistemet rregulluese.

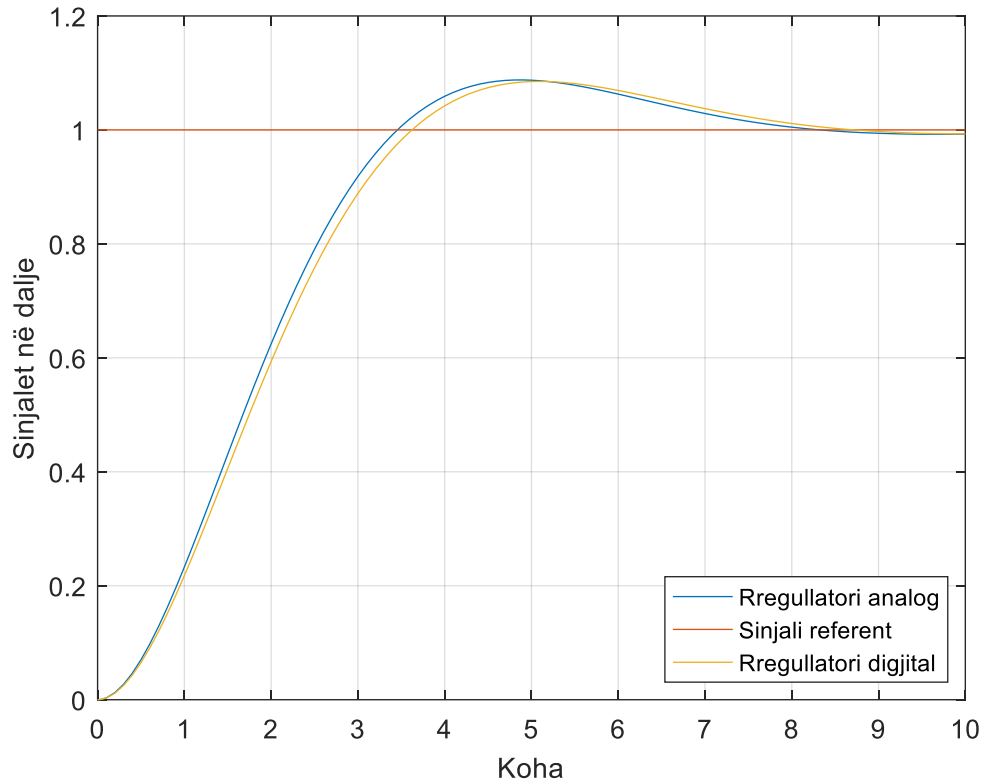


Figura 2.6. Gjendja stacionare e sistemeve.

2.3. Sistemi rregullues me vonesë fikse

Duke marrë parasysh vonesat e shkaktuara nga rregullatori, vonesat kohore mund të shkaktohen edhe nga komponentët e tjerë të sistemit rregullues, si aktuatorët, sensorët dhe pjesa e komunikimit. Pra, të gjithë këta komponentë kanë ndikim në vonesën kohore totale, por ndryshe nga njëri-tjetri.

Në kohën e sotme, strukturat bashkëkohore të sistemeve rregulluese janë të shpërndara me rrjeta komunikuese (distributed), Figura 2.7. Prandaj, nëse rrjeta është deterministike, ekziston mundësia për të përcaktuar se sa është vonesa kohore. Në esencë, të gjitha vonesat e shkaktuara nga komponentët e sistemit rregullues, veç e veç, në fund mbledhen dhe ekuivalentohen në një vonesë të vetme. Për rregullatorin, ato interpretohen si një vonesë e vetme totale, në bazë të së

² Koha e vonesës definohet si koha që i duhet sistemit që të arrijë 50% të vlerës që ka sistemi kur arrin vlerën stacionare.

³ Koha e ngritjes definohet si koha që i nevojitet sistemit që të arrijë nga 10% në 90% të vlerës përfundimtare që ka sistemi në gjendje stacionare.

⁴ Koha e qetësimit definohet si koha që i duhet përgjigjës kohore të sistemit të hyjë brenda një brezi të caktuar të vlerave. Zakonisht merret brezi $\pm 5\%$ i vlerës referente.

cilës edhe mund të konfigurohet rregullatori. Kjo ndodh për faktin se, nëse ekziston mundësia e parashikimit të vonës, ajo përfshihet si pjesë e kalkulimeve për projektimin e rregullatorit.

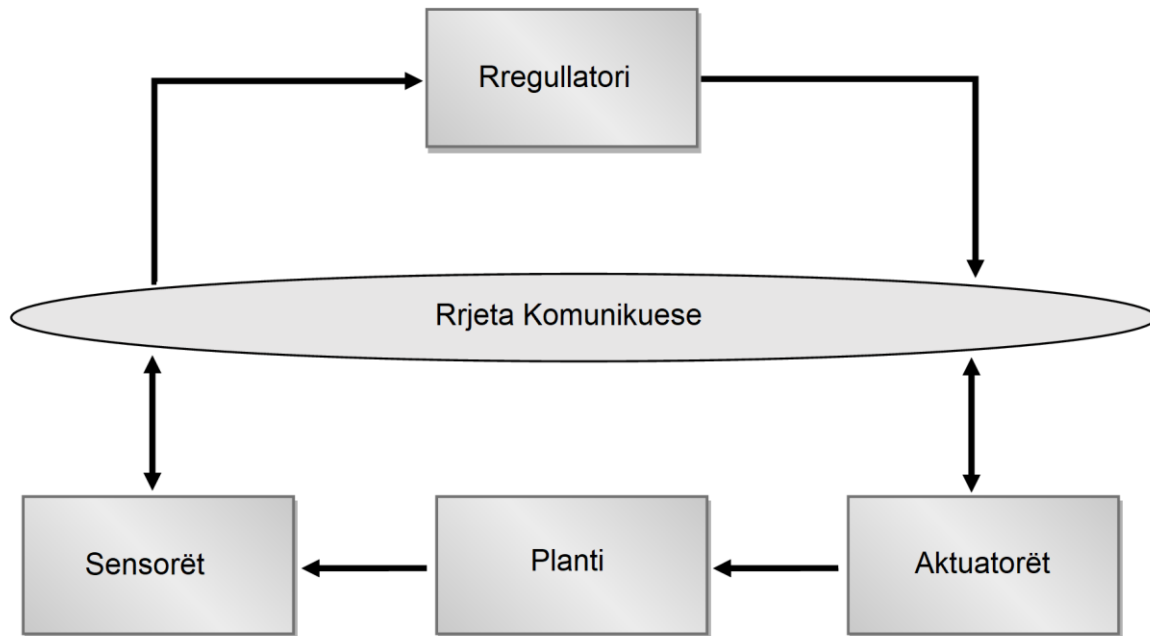


Figura 2.7. Struktura e sistemeve rregulluese.

Për rastin e simulimit të sistemit rregullues me vonesë të fiksuar, është përdorur struktura e njëjtë e sistemit me atë paraprak, vetëm se tani është përfshirë edhe vonesa kohore fikse, siç tregohet në Figurën 2.8. Perioda e mostrimit përsëri është $T=0.1[s]$.

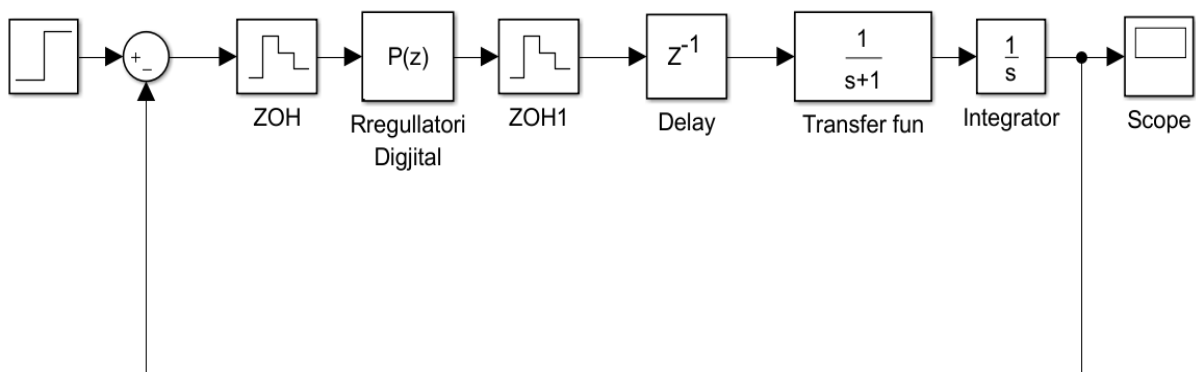


Figura 2.8. Sistemi rregullues me vonesë kohore fikse.

Sinjalin në dalje të këtij sistemi e kemi paraqitur në Figurën 2.9, ndërsa në Figurën 2.10 shihet dallimi mes sinjalit në dalje të sistemit, me dhe pa vonesë kohore.

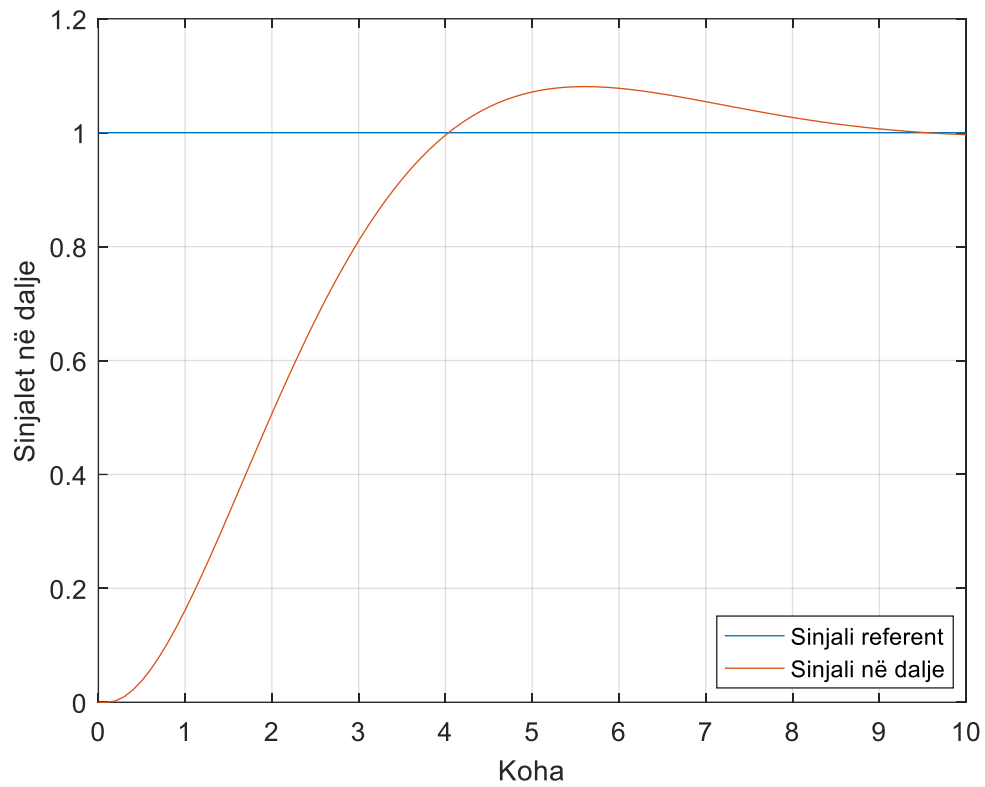


Figura 2.9. Gjendja stacionare e sistemit.

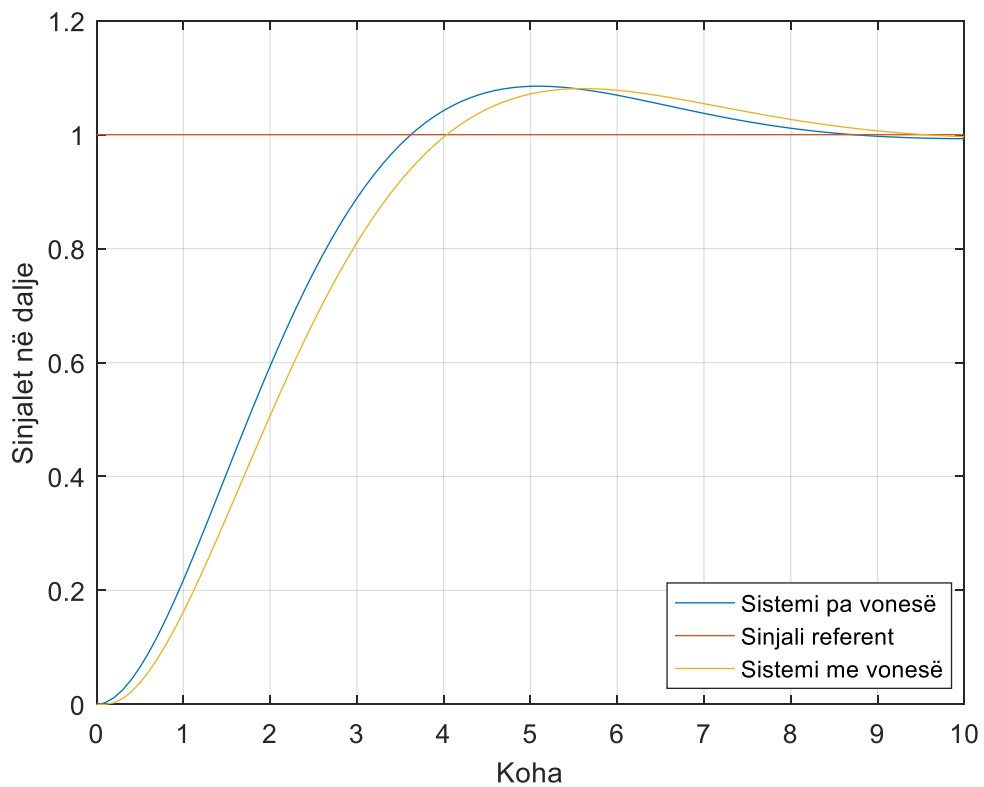


Figura 2.10. Përgjigjja e sistemit me dhe pa vonesë kohore.

Nga blloku i vonesës kohore, vërehet se vonesa kohore ka qenë vetëm për një periudhë mostrimi (Z^{-1}). Prandaj, nëse krahasojmë sinjalin në dalje të këtij sistemi me rastin e sistemit rregullues me rregullator digjital, por pa vonesë kohore, konstatohet se sinjali në dalje është paksa i vonuar, por pothuajse i njëjtë. Nëse vazhdojmë dhe e rrisim vonesën kohore, sikurse në Figurën 2.11, atëherë do të vërehet një rritje e tejkalimit maksimal dhe numrit të oscilimeve. Potencialisht, ky fenomen edhe mund të rrezikojë stabilitetin e sistemit, Figura 2.12.

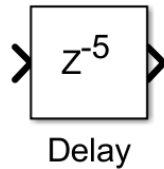


Figura 2.11. Blloku i vonesës.

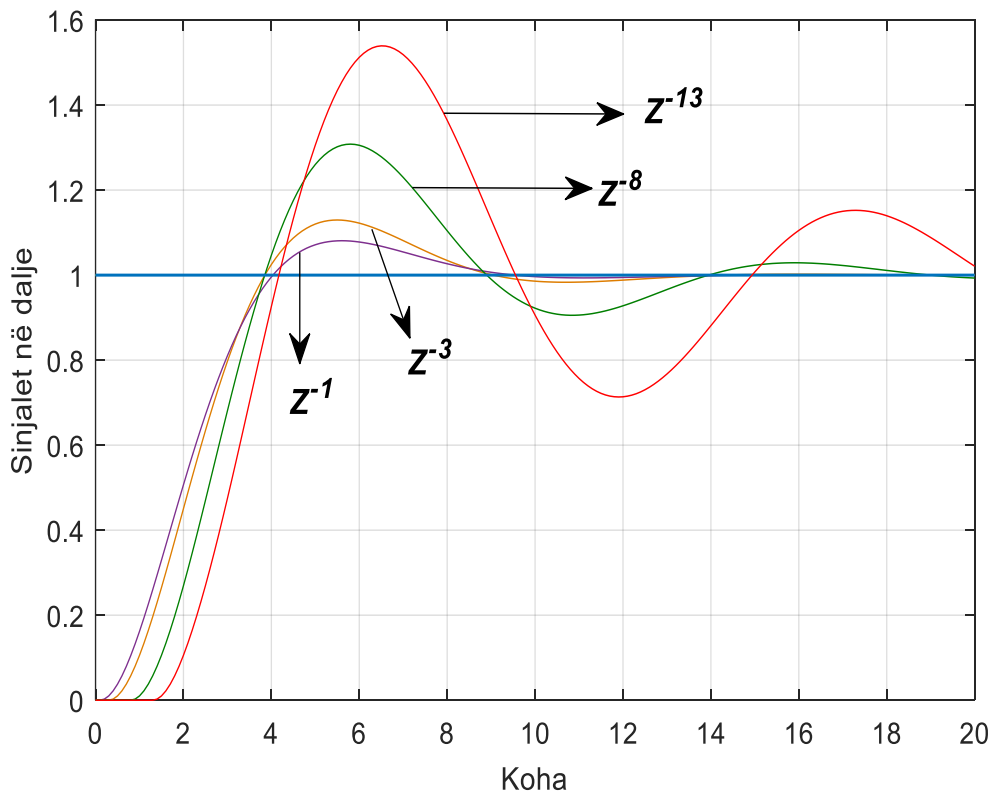


Figura 2.12. Përgjigjja në dalje të sistemit për vlera të ndryshme të vonesës.

2.4. Sistemi rregullues me vonesë variable

Një situatë problematike shfaqet në kontekstin e komunikimit, ku vonesa kohore shpesh nuk mund të përcaktohet. Kjo ndodh, sidomos në rastin kur kemi BUS të përbashkët, ngase rritet mundësia që një proces tjetër të shkaktojë më shumë, ose më pak vonesa, duke shtuar më tepër kompleksitetin në modelimin e sistemit.

Për të ilustruar një situatë të tillë, me vonesa kohore variabile, konsiderojmë se sistemi rregullues, pjesën e procesit dhe rregullimit vazhdon ta ketë të njëjtë me sistemet e simuluar më parë, por tani vonesa kohore është variabile.

Në Figurën 2.13, është paraqitur blloku i vonesës variabile në platformën Simulink. Observojmë se kemi dy hyrje: Në rastin tonë, në hyrjen e parë dërgohet dalja e sinjalit nga rregullatori, ndërsa në hyrjen e dytë dalja e sinjalit nga një gjenerator rëndom i numrave, i cili gjeneron vlera të ndryshme brenda një brezi të caktuar. Numri i rastit që gjenerohet nga ky gjenerator determinon vlerën që do të vonohet sinjali në një moment të caktuar.



Figura 2.13. Blloku i vonesës variabile.

Në Figurën 2.14, është shfaqur implementimi i përcaktimit të vonesës kohore variabile në një dritare të Simulink.

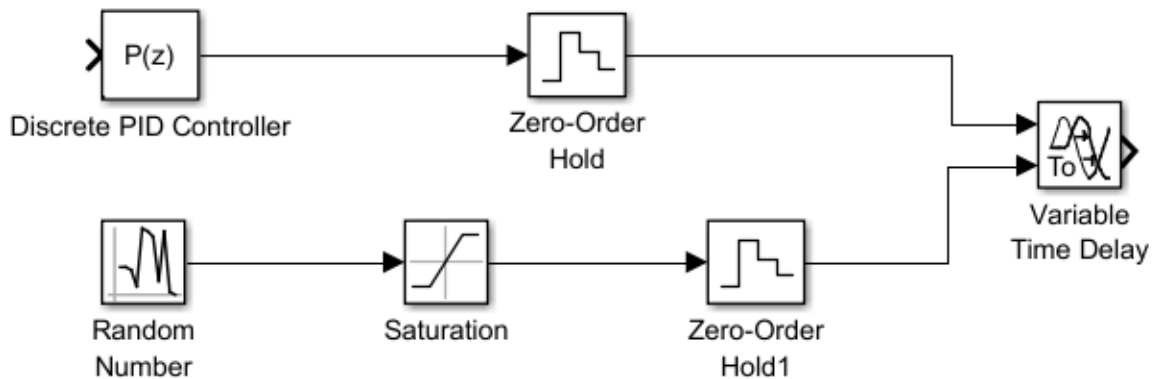


Figura 2.14. Skema e konfigurimit të vonesës variabile.

Në Figurën 2.15 shihet një pjesë e brezit të numrave që janë gjeneruar. Nëse konfigurimi i "seed" ndryshon, atëherë për të njëjtin brez të vlerave do të gjenerohen numra të ndryshëm.

Për të parë ndikimin e vonesës kohore, është e nevojshme të paraqesim sinjalin në hyrje dhe atë në dalje të bllokut të vonesës në oshiloskop. Nëpërmjet kësaj, do të shohim se sinjali në dalje të vonesës kohore ka formën e njëjtë me atë në hyrje, por është i vonuar për një kohë të caktuar (Figura 2.16). Kjo vonesë përcaktohet në bazë të vlerës së gjeneruar nga gjeneratori rëndom i numrave.

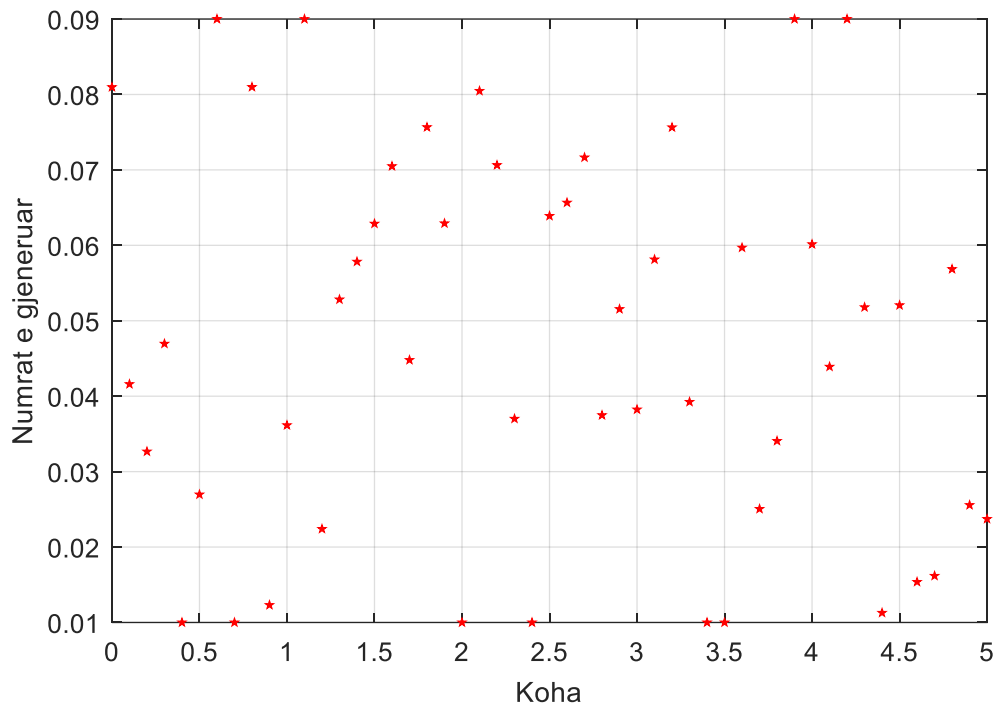


Figura 2.15. Numrat që gjenerohen nga gjeneratori.

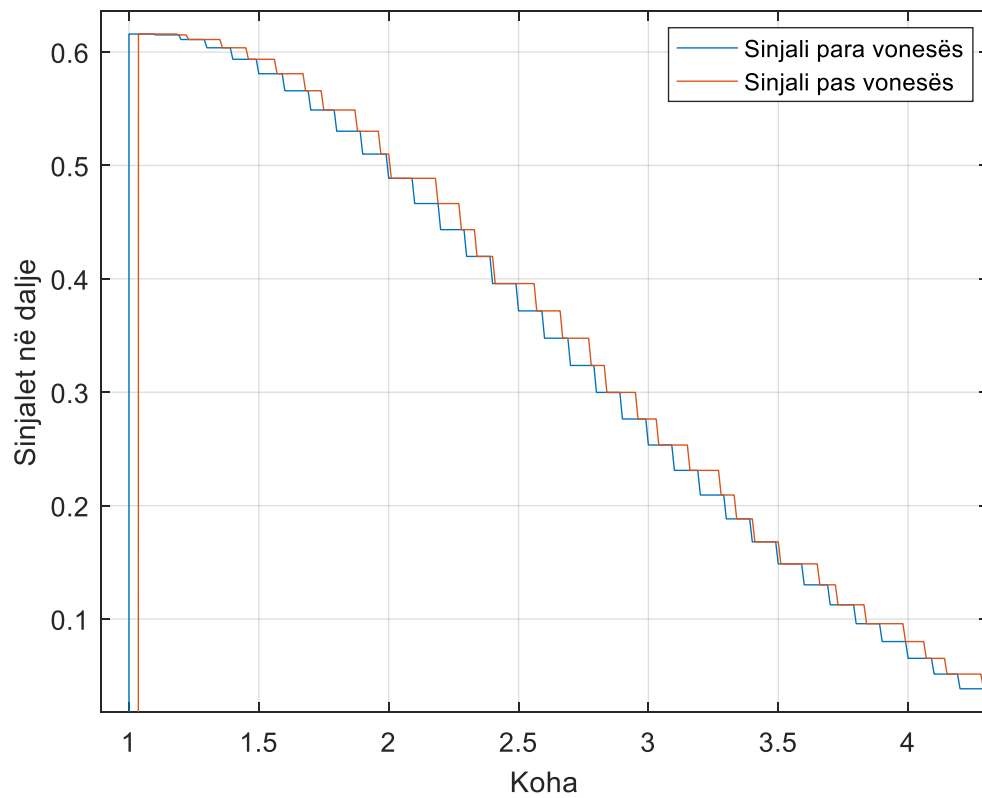


Figura 2.16. Sinjali para dhe pas vonesës.

Sistemi rregullues me vonesë variabile i simuluar është paraqitur në Figurën 2.17.

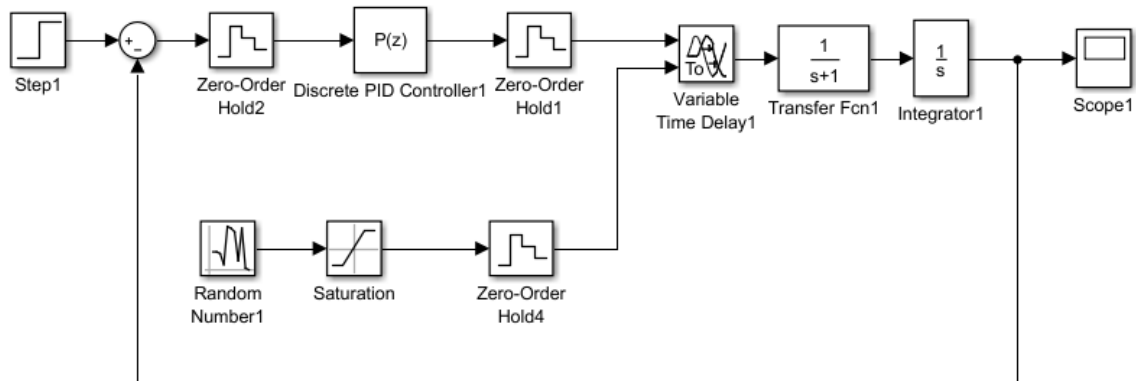


Figura 2.17. Sistemi rregullues me vonesë variabile në Simulink.

Figura 2.18 paraqet përgjigjet në dalje të sistemeve për periodën e mostrimit $T=0.1[s]$.

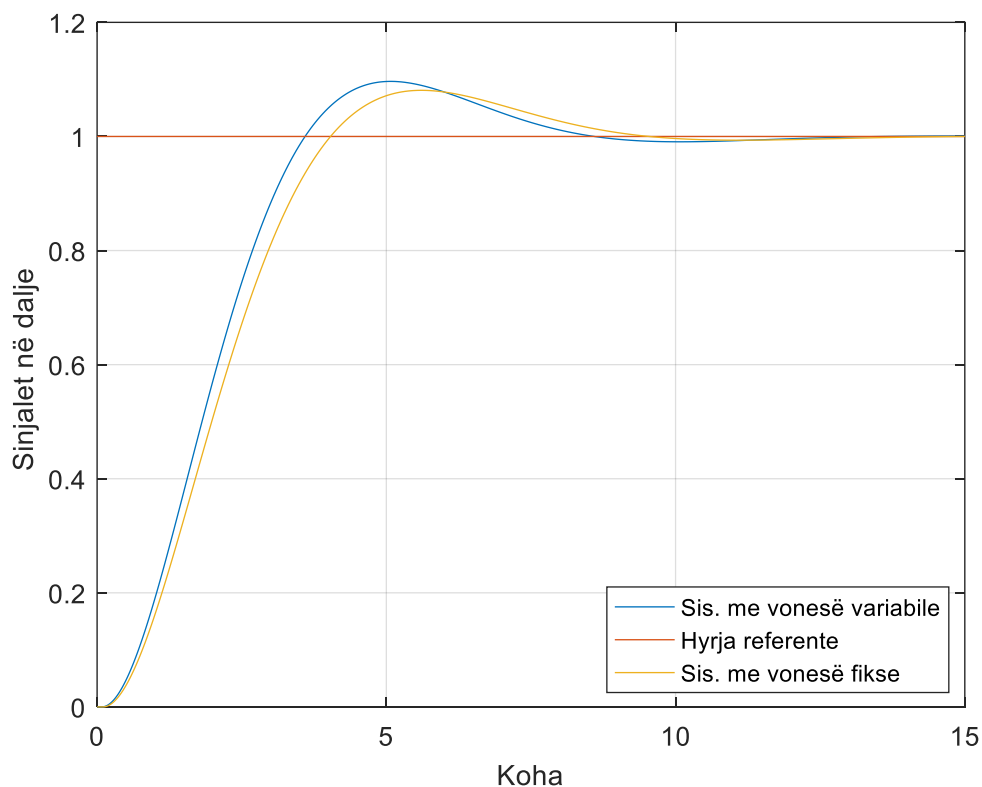


Figura 2.18. Gjendja stacionare e sistemeve.

Figura 2.19, përgjigjet në dalje të sistemeve për periodën e mostrimit $T=1.5[s]$.

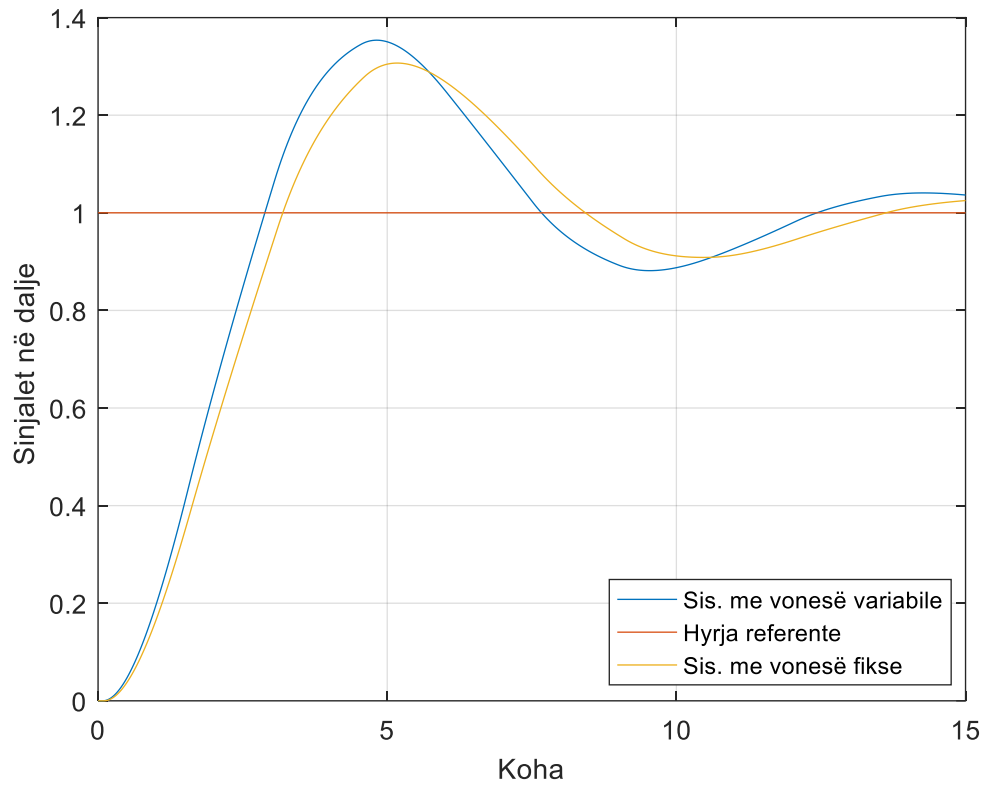


Figura 2.19. Gjendja stacionare e sistemeve.

Figura 2.20, perioda e mostrimit $T=5[s]$.

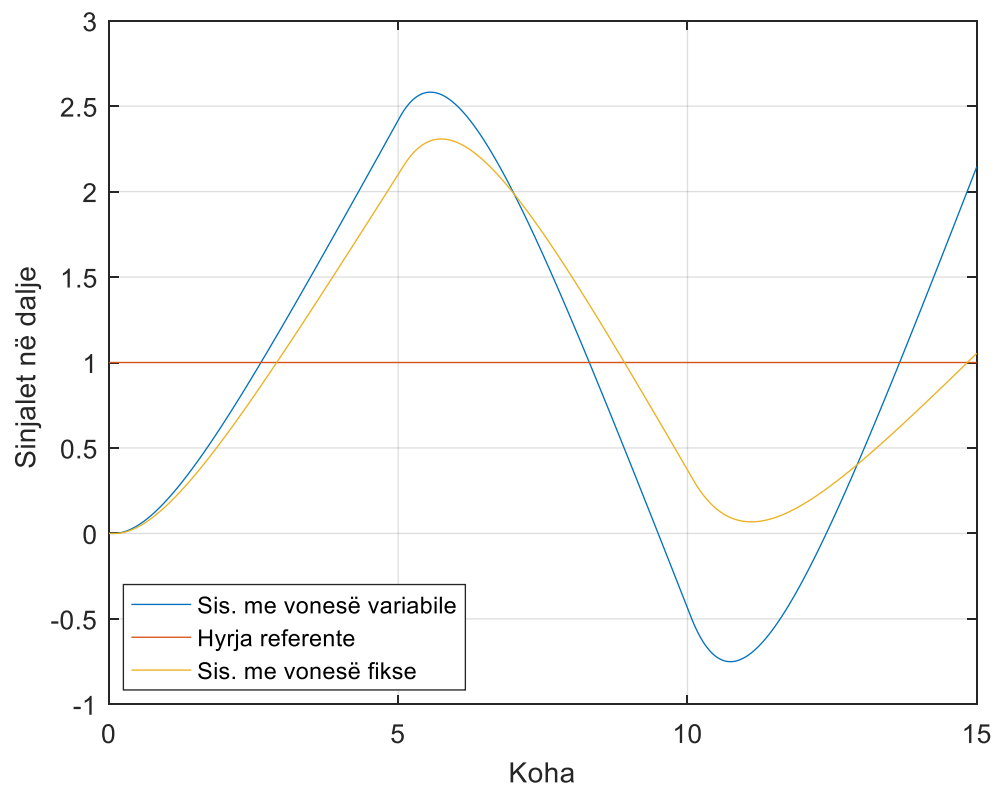


Figura 2.20. Gjendja stacionare e sistemeve.

2.5. Simulimi me vonesë variable dhe humbje të mostrave

Në kontekstin e rrjetave komunikuese, si në rastin e teknologjisë Ethernet, mund të ndodhë që të paraqitet një situatë ku paketi i të dhënave humbet gjatë një faze të procesit të komunikimit. Ose, krahas kësaj, mund të ndodhë që paketi të vonohet për një periudhë kohore më të gjatë ose më të shkurtër sesa që është e arsyeshme për funksionimin e përgjithshëm të procesit. Për rastet e tilla, konsiderohet se paketi (mostra) është humbur.

Kur kemi të bëjmë me humbje të mostrave, atëherë zgjidhja është të bëhet kompozimi i atyre mostrave. Ashtu si në rastin e vonesave kohore, ku ekzistojnë algoritme për kompozimin e tyre, edhe për situatën e humbjes së mostrave ekzistojnë algoritme të caktuara që të kompozohet mostra e humbur. Për rastin tonë të studimit, është përdorur metoda e kompozimit të mostrës së humbur me mostrën paraprake, edhe pse një metodë e tillë jo gjithmonë është e përshtatshme.

Për të ilustruar rastin e humbjes së mostrave, është përdorur struktura e njëjtë e sistemit të modeluar me vonesë kohore variable. Kjo për faktin se, në varësi të vonesës kohore, është caktuar kushti që përcakton humbjen e mostrës. Pra, është caktuar një vlerë (konstante) e cila, nëse tejkalohet nga vlera e vonesës kohore, atëherë konsiderohet se kemi të bëjmë me humbje të mostrës. Në simulim, kjo është realizuar duke përdorur një operator matematikor (krahasues), i cili krahason vlerën e gjeneruar nga gjeneratori i numrave të rastit (determinues i vonesës kohore) dhe një konstante, vlera e të cilës duhet të jetë brenda brezit të numrave që potencialisht gjenerohen nga gjeneratori i numrave rëndom. Sinjali në dalje të operatorit matematikor, siç shihet në Figurën 2.21, është një dalje logjike (1/0).

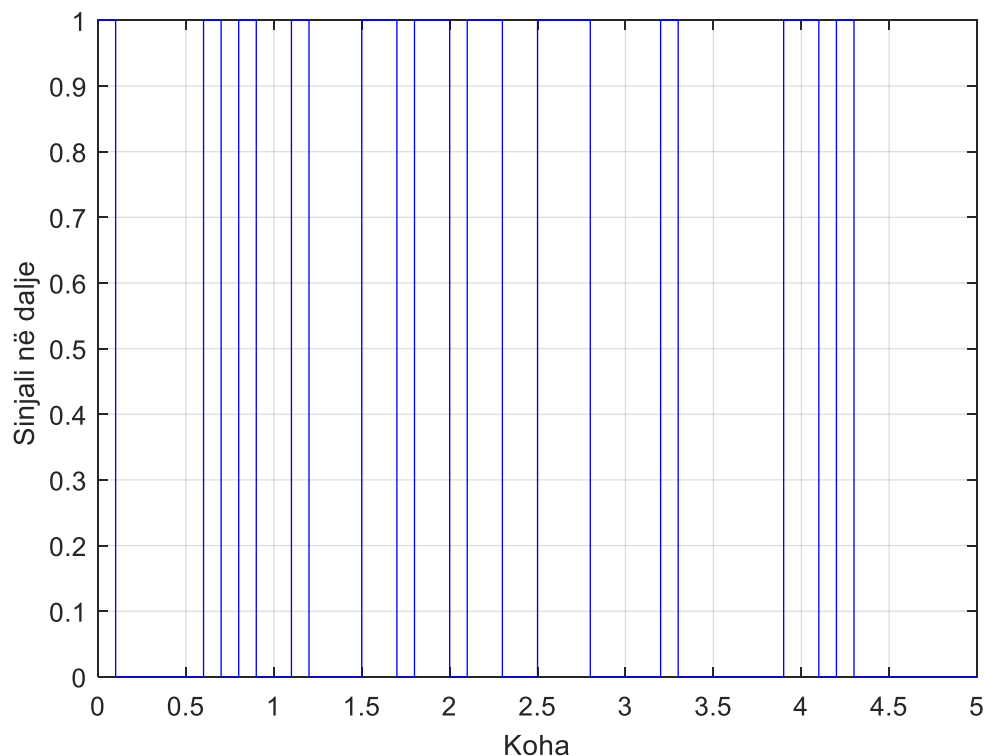


Figura 2.21. Sinjali në dalje të operatorit matematikor.

Kushti që përcakton humbjen e mostrës është realizuar duke shfrytëzuar bllokun switch në Simulink. Sipas tij, nëse sinjali në hyrjen kushtëzuese të bllokut është 0, në dalje të bllokut të switch-it do të jetë vlera nga hyrja sekondare e tij, ndërsa nëse sinjali në hyrjen kushtëzuese është 1, atëherë sinjali në dalje do të jetë vlera nga hyrja primare e tij. Në Figurën 2.22, është paraqitur blloku i switch-it. Vërehet se kemi tri hyrje, dhe në dy prej tyre dërgohen sinjalet që eventualisht do të jenë në dalje të tij, ndërsa në një të tretën, gjegjësisht atë të mesit, vendoset sinjali kushtëzues, i cili përcakton se cila nga hyrjet do të jetë aktive. Në rastin tonë, në hyrjen sekondare është dërguar sinjali i rrjedhës normale të sistemit, i cili është sinjal i vonuar, por jo aq sa të konsiderohet si mostër e humbur, ndërsa në hyrjen primare është dërguar sinjali i pjesës së kompozuar të mostrës së humbur. Në anën tjetër, si hyrje kushtëzuese është vendosur sinjali i operatorit matematikor.

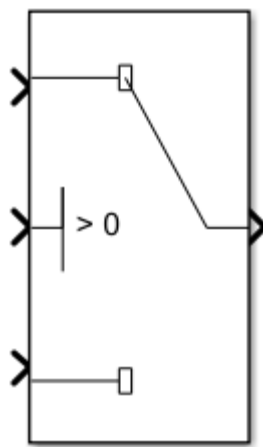


Figura 2.22. Blloku i switch-it.

Theksojmë se në rastin kur kemi humbje të mostrës, atëherë mostra e kompozuar do të jetë mostra paraprake. Modelimi i këtij algoritmi është realizuar duke u bazuar në detektimin e tehut rritës të sinjalit që tregon se në atë brez kemi mostër të humbur, gjë që në simulim është sinjali në dalje të bllokut të operatorit krahasues. Për shkak se dalja e këtij operatori është logjike dhe nuk është e kompatibile me sinjalet e tjera në sistem, kemi nevojë që ky sinjal të konvertohet. Në Simulink, një gjë e tillë arrin të realizohet thjesht duke përdorur një bllok konvertues (Data Type Conversion), Figura 2.23.

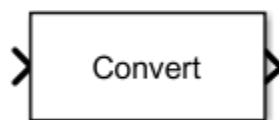


Figura 2.23. Blloku konvertues.

Sinjalin e konvertuar të operatorit krahasues e dërgojmë te nënsistemi (Triggered Subsystem), ku bëhet detektimi i tehut rritës të sinjalit (Figura 2.24 dhe Figura 2.25). Si hyrje e nënsistemit

është sinjali në dalje të vonesës kohore, kështu dalja e nënsistemit do të jetë aktive duke dërguar mostrën paraprake përgjatë brezit ku është humbur mostra, vetëm kur kemi humbje të mostrës.



Figura 2.24. Blloku nënsistemit.

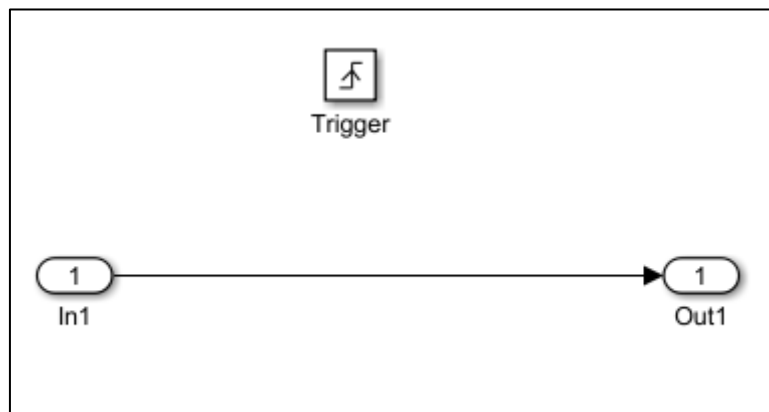


Figura 2.25. Konfigurimi nënsistemit.

Në Figurën 2.26, është paraqitur simulimi i algoritmit të modeluar për kompozimin e mostrave të humbura.

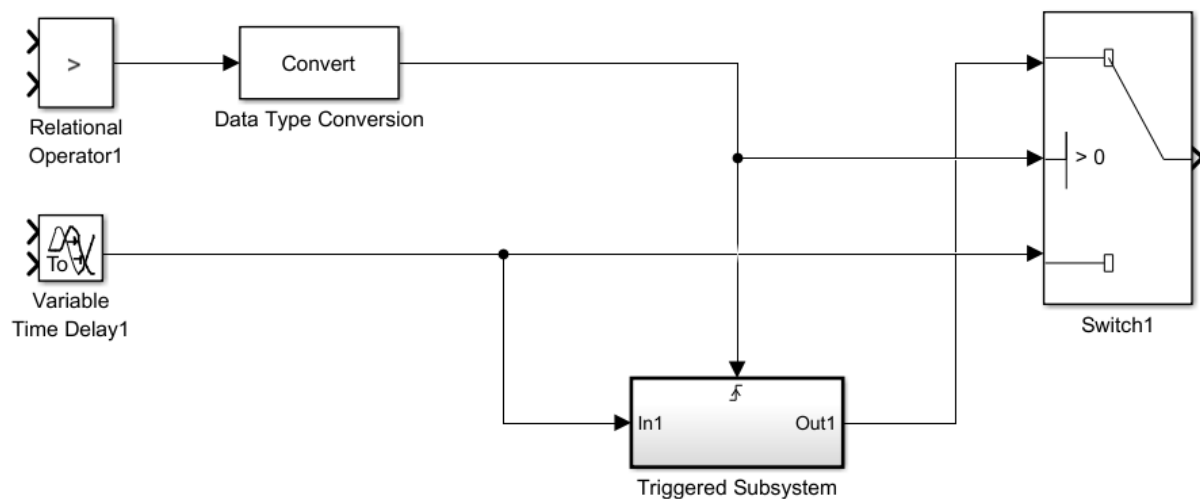


Figura 2.26. Skema që bën kompozimin e mostrës.

Në Figurën 2.27, është shfaqur një pjesë e dritares së oshiloskopit ku është evidentuar efekti i humbjes së mostrave dhe kompozimi i saj me mostrën e re.

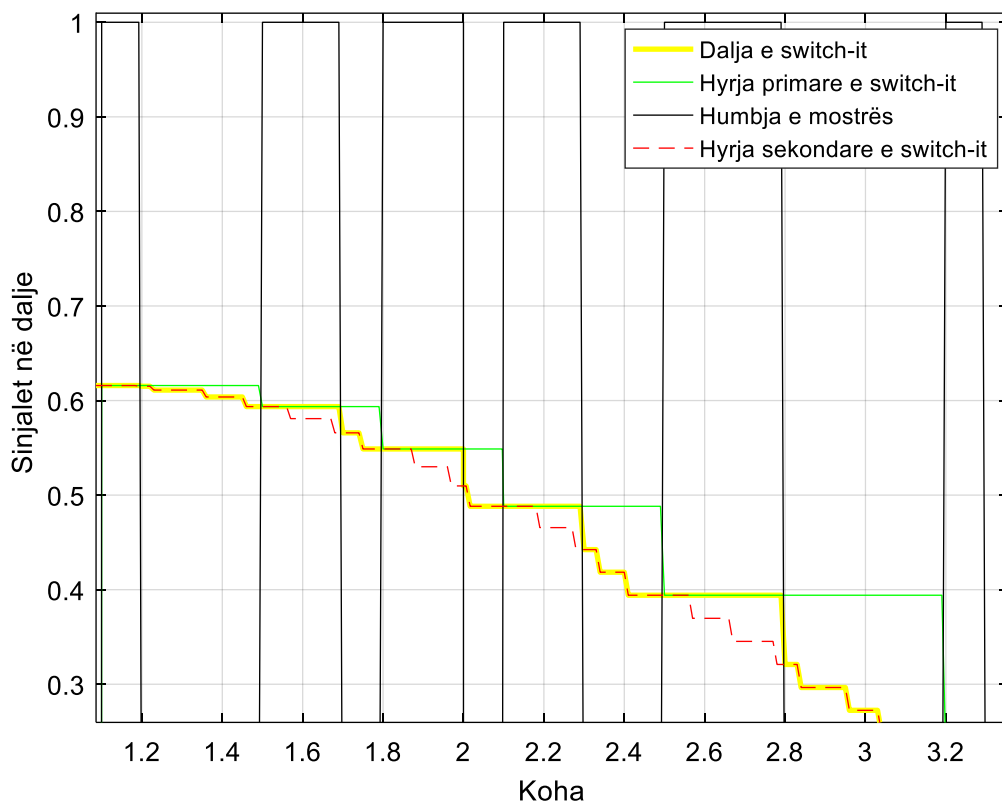


Figura 2.27. Graf i shfaq humbjen e mostrave.

Sinjalet paraqitur me ngjyrë të zezë, shfaq sekuencat ku ndodh humbja e mostrave. Konfigurimi është realizuar në mënyrë që, në brezin me vlerë 1, të ketë humbje të mostrave. Një mostër përfshin një periudë mostrimi $T=0.1[s]$. Sinjali i paraqitur me ngjyrë të verdhë paraqet sinjalin në dalje të switch-it, që njëkohësisht është sinjali që kalon në proces. Ashtu siç është theksuar më parë, konfigurimi i switch-it është i tillë që në hyrjen sekondare është sinjali i rrjedhës normale të sistemit, prandaj ky sinjal në figurë është paraqitur me vijat e ndërprera në të kuqe. Sinjali me ngjyrë të gjelbre paraqet sinjalin e hyrjes primare, ose më saktë, mostrën e kompozuar. Kështu, në figurë vërehet se sinjali i daljes së switch-it është i njëjtë me sinjalin në hyrjen sekondare gjatë gjithë kohës që nuk ka humbje të mostrave. Pra, sinjali në dalje të switch-it dhe hyrja sekondare kanë të njëjtën vlerë. Në rastin kur ndodh humbja e mostrës, sinjali në dalje të switch-it bëhet i njëjtë me sinjalin në hyrjen primare. Andaj, sinjali në ngjyrë të verdhë dhe ai në ngjyrë të gjelbre kanë të njëjtën vlerë në këtë situatë.

Skema e plotë e simuluar për sistemin rregullues me vonesa kohore variabile dhe humbje të mostrave paraqitet në Figurën 2.28. Nëpërmjet kësaj figure, vërehet se vlera e konstantës, e cila është krahasuar me vlerat e gjeneruara nga gjeneratori i numrave të rastit, është 0.06. Kjo do të thotë se çdo vlerë e vonës kohore që është 0.06 ose më e madhe, konsiderohet si mostër e humbur. Brezi i numrave që gjenerohen nga gjeneratori i numrave të rastit përfshin vlerat nga 0 deri në 0.1.

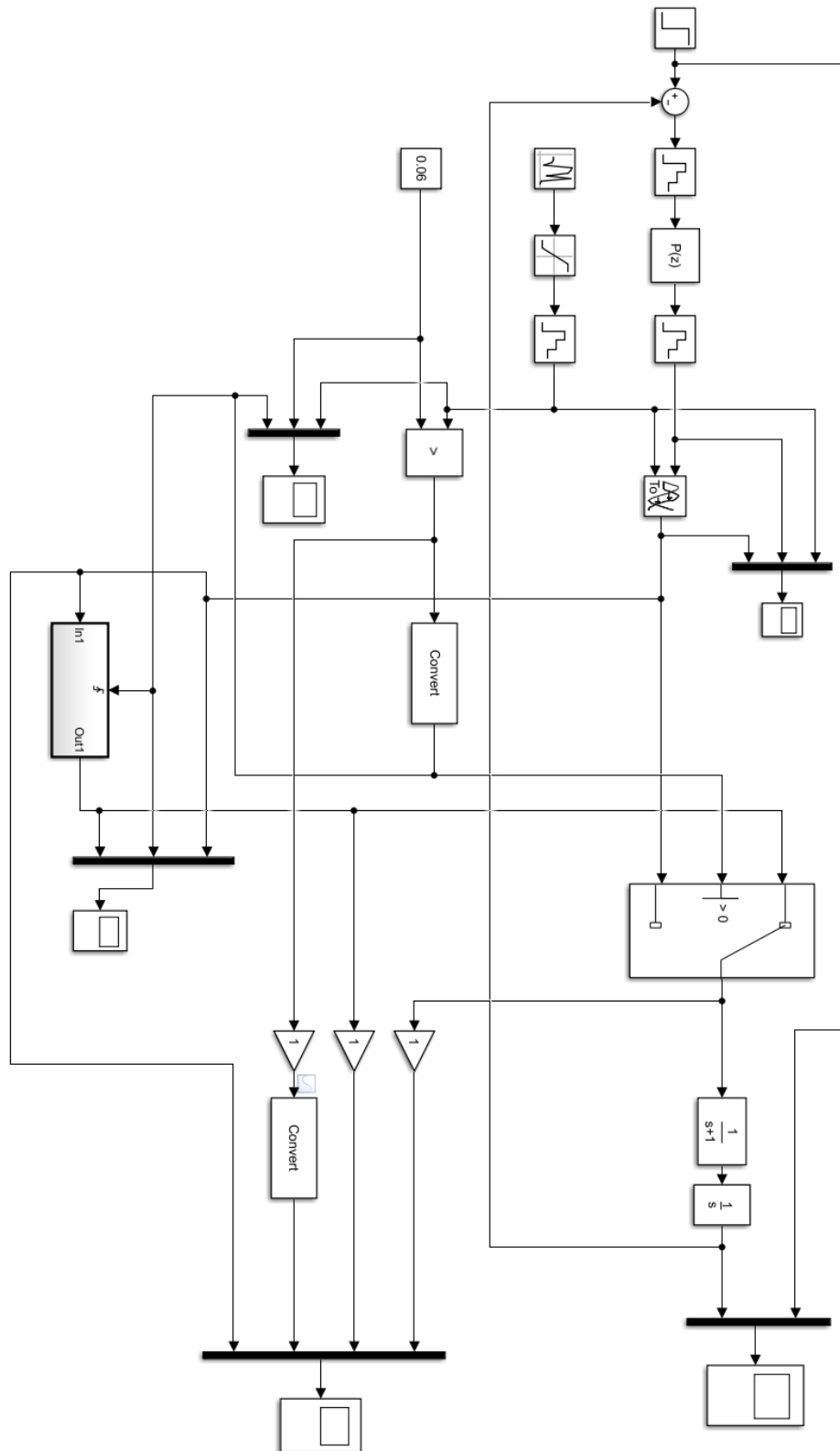


Figura 2.28. Skema e sistemit rregullues.

Figura 2.29, paraqet sinjalet në dalje të sistemeve me dhe pa humbje të mostrave për $T=0.1[s]$.

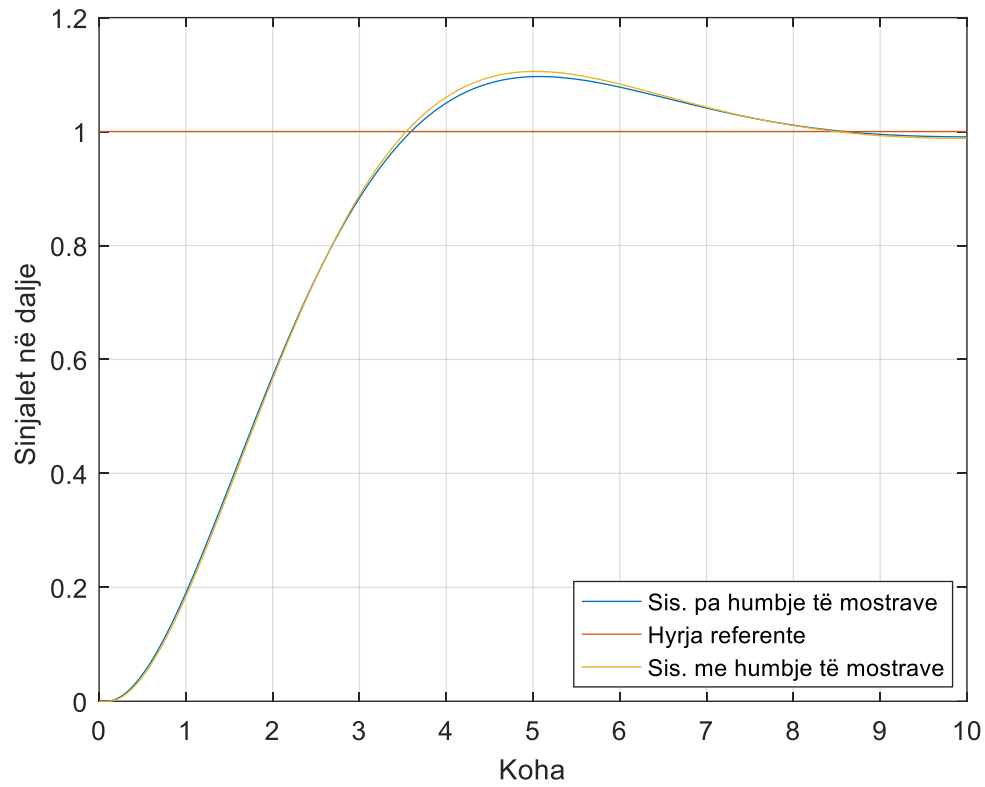


Figura 2.29. Gjendja stacionare e sistemeve.

Figura 2.30, perioda e mostrimit $T=2[s]$.

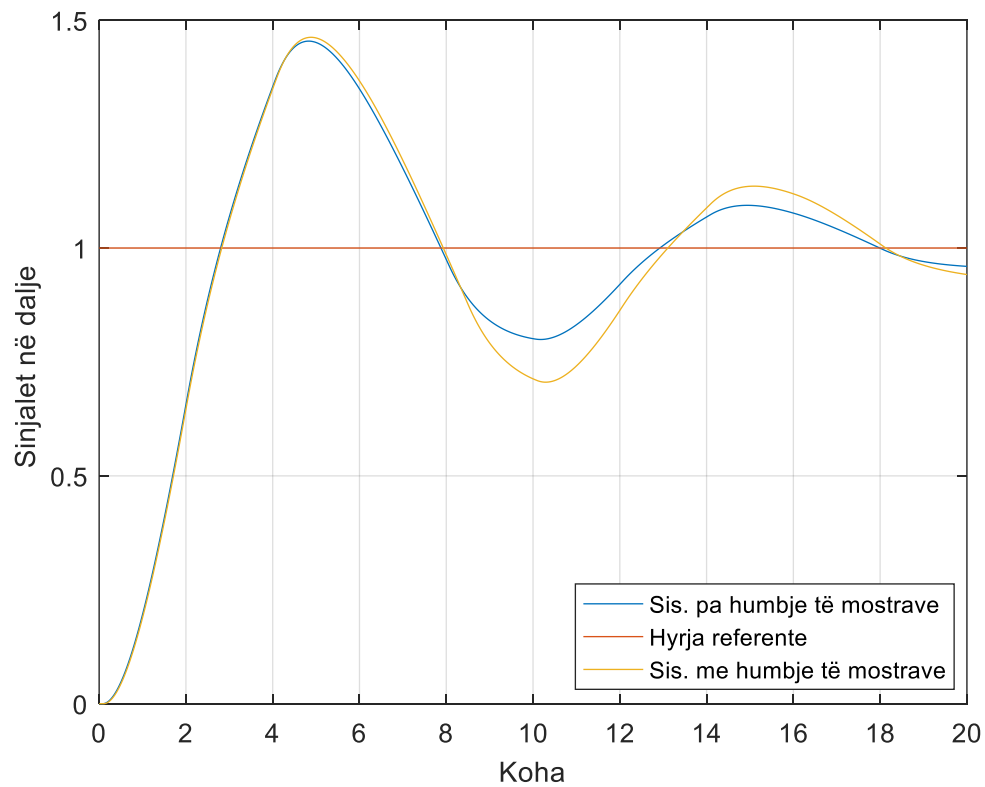


Figura 2.30. Gjendja stacionare e sistemeve.

Në Figurën 2.31 janë paraqitur sinjalet në dalje të sistemeve, ku perioda e mostrimit është $T=4[s]$.

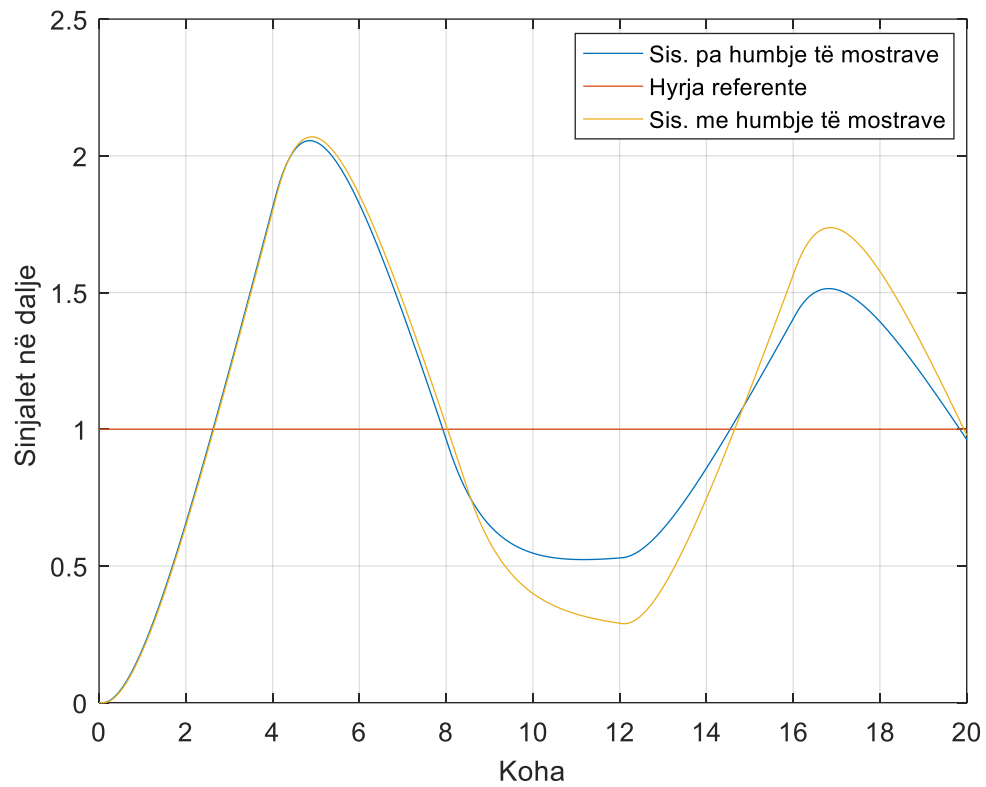


Figura 2.31. Gjendja stacionare e sistemeve.

3. Përfundimi

Rezultatet e fituara nga simulimet respektive tregojnë se vet kalimi nga një medium kontinual në atë digjital e degradon pak sinjalin, pasi që humbin disa nga informatat që sinjali bart. Në ilustrimet e simuluara janë bërë krahasime të rregullimit të proceseve me rregullator analog dhe digjital. Pra, për procesin e njëjtë të rregulluar me rregullator analog dhe digjital, vërehet se sistemi me rregullator digjital ka performancë më pak të mirë se ai analog; kjo shihet grafikisht nëse shikohet gjendja kalimtare e dy sistemeve.

Sistemi rregullues fillimisht ka qenë ideal në kuptimin e vonesave kohore, pastaj janë shqyrtuar rastet duke futur vonesa kohore. Fillimisht janë shqyrtuar vonesat kohore fikse, pastaj ato variabile. Kur vonesa kohore është fikse, ky konsiderohet si avantazh, pasi kur vonesa dihet paraprakisht, ajo mund të menaxhohet lehtë duke e projektuar rregullatorin në kondita që vonesa mund të jetë maksimumi apo minimumi një periodë mostrimi. Nga figurat e fituara nga simulimet, mund të vërehet se dallimi mes sinjalit ideal dhe atij të vonuar vetëm për një periodë mostrimi është i vogël. Megjithatë, rritja e vonesës kohore për më shumë se një periodë mostrimi ka shfaqur menjëherë oscilimet e sinjalit në dalje, të cilat janë indikacion i jostabilitetit të sistemit. Kështu, sikurse shihet në pamjet nga oshiloskopi me rritjen e shumëfishave të vonesës kohore për periodë të mostrimit, potencialisht rritet edhe gjasa që sistemi të kalojë në jostabilitet. Në rastin e vonesave kohore variabile, situata është pak më ndryshe, kjo për faktin se projektimi i rregullatorit nuk mund të bëhet ashtu që të parashikohet vonesa kohore. Për periodën e mostrimit $T=0.1[s]$, rezultatet e fituara nga simulimet tregojnë se, në rastin tonë, sistemi me vonesa kohore variabile ka performancë më të mirë se ai me vonesë fikse. Kjo situatë fitohet për shkak që brezi i vonesës kohore mund të jetë nga 0 deri 0.1. Pra, vonesa maksimale që mund të gjenerohet është një periodë mostrimi dhe në rastin tonë shihet se vonesa variabile është më e vogël se një periodë mostrimi, ndërsa te sistemi rregullues me vonesa kohore fikse, vonesa kohore gjithmonë është një periodë mostrimi, gjë që në këtë rast ka qenë më e madhe se vonesa e sistemit ku vonesa është variabile. Ky fakt ka bërë që sistemi rregullues me vonesa variabile në këtë rast ka performancë më të mirë se ai me vonesa fikse. Ndërsa, nëse rritet vlera periodës së mostrimit, vërejmë se sinjali në dalje ndryshon, saqë mund t'a dërgoj sistemin në jostabilitet.

Rasti i fundit i shqyrtuar është simulimi i sistemit rregullues me mostra të humbura. Rregulli se kur një mostër konsiderohet e humbur bazohet në krahasimin që i bëhet mostrës së vonuar me një konstantë të caktuar. Nëse vonesa është më e madhe se kjo konstantë, atëherë ajo mostër injorohet dhe konsiderohet si e humbur dhe duhet të kompozohet me mostrën e vjetër. Nga grafi ku është paraqitur kompozimi i mostrave të humbura, shihet se në momentin që kemi humbje të mostrës, atëherë ajo mostër kompozohet me mostrën e vjetër. Kjo vlen edhe nëse kemi më shumë se një mostër të humbur radhazi. Nëse krahasohet përgjigja në dalje të sistemit me mostra të humbura dhe sistemit me vonesa kohore variabile, kur perioda e mostrimit është $T=0.1[s]$, atëherë vërehet një dallim i vogël që tregon ndikimin e mostrave të humbura. Mirëpo, nëse vlera e periodës së mostrimit vazhdon e rritet, atëherë ky dallim vërehet më qartë.

Referencat

- [1] Norman S. Nise (2011) Control Systems Engineering: sixth edition. John Wiley & Sons. USA.
- [2] Benjamin C. Kuo (1992) Digital Control Systems: second edition. Harcourt Brace Jovanovich, USA.
- [3] Fei-Yue Wang, Derong Liu (2008) Networked Control Systems: Theory and Applications. Springer, London.

Shtojca A

Laplas $H(s)$	Z-Transformim $H(z)$	Z-Transformim i modifikuar $H(z, m)$
1	1	0
e^{-kTs}	z^{-k}	z^{-k-1+m}
$\frac{1}{s}$	$\frac{z}{z-1}$	$\frac{1}{z-1}$
$\frac{1}{s^2}$	$\frac{Tz}{(z-1)^2}$	$\frac{mT}{z-1} + \frac{T}{(z-1)^2}$
$\frac{1}{s+a}$	$\frac{z}{z-e^{-aT}}$	$\frac{e^{-amT}}{z-e^{-aT}}$
$\frac{1}{(s+a)^2}$	$\frac{Tze^{-aT}}{(z-e^{-aT})^2}$	$\frac{Te^{-amT}[e^{-aT} + m(z-e^{-aT})]}{(z-e^{-aT})^2}$
$\frac{a}{s(s+a)}$	$\frac{z(1-e^{-aT})}{(z-1)(z-e^{-aT})}$	$\frac{(1-e^{-amT})z + (e^{-amT} - e^{-aT})}{(z-1)(z-e^{-aT})}$
$\frac{a}{s^2(s+a)}$	$\frac{Tz}{(z-1)^2} - \frac{(1-e^{-aT})z}{a(z-1)(z-e^{-aT})}$	$\frac{T}{(z-1)^2} + \frac{amT-1}{a(z-1)} + \frac{e^{-aT}}{a(z-e^{-aT})}$

Shtojca B

Kohë $h(t), t > 0$	Laplas $H(s)$
$\delta(t)$	1
$\delta(t - kT)$	e^{-kTs}
$U_s(t)$	$\frac{1}{s}$
t	$\frac{1}{s^2}$
e^{-at}	$\frac{1}{s + a}$
te^{-at}	$\frac{1}{(s + a)^2}$
$1 - e^{-at}$	$\frac{a}{s(s + a)}$
$t - \frac{1}{a}(1 - e^{-at})$	$\frac{a}{s^2(s + a)}$