ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ -ΑΓΡΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΑΘΗΜΑ: Σ.Α.Ε. - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3: ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Σκοπος:

1. Η κατανόηση των τρόπων διασύνδεσης των συστημάτων μεταξύ τους
2. Η κατανόηση της μεθοδολογίας ανάλυσης και απλοποίησης των συστημάτων
3. Η κατανόηση τού αποτελέσματος τής σύνδεσης συστημάτων σε σειρά, παράλληλα με θετική και αρνητική ανάδραση και εφαρμογή αυτών στο Matlab

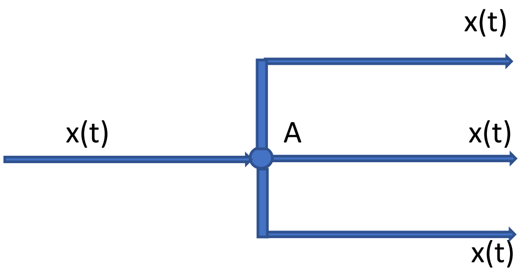
ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΕΣ: ΤΣΙΡΟΠΟΥΛΟΣ ΖΗΣΗΣ ΕΠΙΚ.ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΚΑΡΑΝΙΚΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΕΔΙΠ

ΛΑΡΙΣΑ 2025

ΜΕΡΟΣ Α : ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΕΞΙΟΤΗΤΕΣ

Διασύνδεση συστημάτων

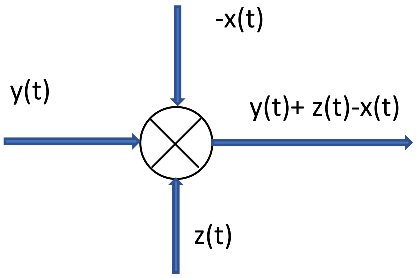
Το στάδιο της ανάλυσης ενός συστήματος, η προσπάθεια δηλαδή να δημιουργήσουμε μία συνάρτηση μεταφοράς που να περιγράφει τη λειτουργία του συστήματος, είναι πάρα πολύ δύσκολη υπόθεση. Άλλωστε δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η διαδικασία αυτή είναι μια προσπάθεια μεγάλων προσεγγίσεων, αφού η φύση είναι πάρα πολύ πολύπλοκη για να περιγραφεί από τις απλές γραμμικές διαφορικές εξισώσεις. Για να διευκολυνθούμε σε αυτή την διαδικασία συνήθως χωρίζουμε το σύστημα που μελετάμε σε επιμέρους ολοκληρωμένες ενότητες και προσπαθούμε από τη φυσική τους εικόνα, να εξάγουμε τις συναρτήσεις μεταφοράς του κάθε τμήματος. **Για παράδειγμα αν έχουμε να εξάγουμε τις συναρτήσεις μεταφοράς σε έναν ηλεκτρικό κινητήρα, μπορούμε να μελετήσουμε πρώτα το ηλεκτρικό του τμήμα από το οποίο θα καταλήξουμε σε κάποιες συναρτήσεις μεταφοράς, και στη συνέχεια να μελετήσουμε το μηχανολογικό του τμήμα**. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας προκύπτουν επιμέρους συστήματα τα οποία στο τέλος φαίνονται συνδεδεμένα μεταξύ τους. Από τη συνδεσμολογία αυτή μπορούμε να εξάγουμε την συνάρτηση μεταφοράς του συνολικού συστήματος. Η μεθοδολογία της εξαγωγής της συνολικής συνάρτησης μεταφοράς από μια συνδεσμολογία συστημάτων ονομάζεται απλοποίηση συστημάτων. **Τα σχέδια μιας συνδεσμολογίας συστημάτων στηρίζονται σε κάποιες βασικές σχεδιαστικές αρχές και σε δύο βασικά σύμβολα τα οποία παρατίθενται στα σχήματα 1 και 2**



Σχήμα 1

ΚΟΜΒΟΣ Α: το σήμα ***x(t)*** το οποίο εισέρχεται στον κόμβο διακλαδίζεται ακριβώς το ίδιο σε διάφορες κατευθύνσεις

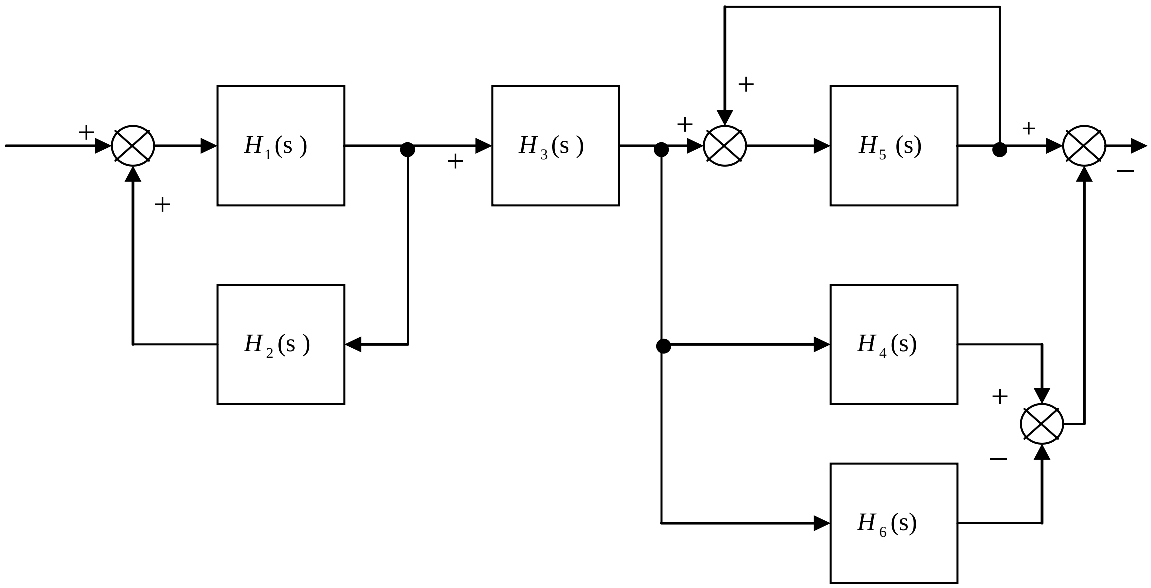
Προσοχή: Στον κόμβο ενός σχεδίου διασύνδεσης συστημάτων έχουμε διαμοιρασμό μόνο του «σήματος» της πληροφορίας. Δεν πρέπει να συγχέεται ο κόμβος αυτός με τον κόμβο ενός ηλεκτρολογικού κυκλώματος, όπου έχουμε διαμοιρασμό ρευμάτων,



Σχήμα 2 : *Αθροιστικό σημείο*

<u>ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ</u> : Το σύμβολο αυτό δείχνει πρόσθεση σημάτων, έχουμε πολλά εισερχόμενα σήματα, αλλά πάντα ένα μόνο εξερχόμενο, το οποίο μας δίνει το αλγεβρικό άθροισμα. Προσοχή τα πρόσημα σημειώνονται στα εισερχόμενα σήματα.

Στο σχήμα 3 δίνουμε το παράδειγμα μιας συνδεσμολογίας συστημάτων



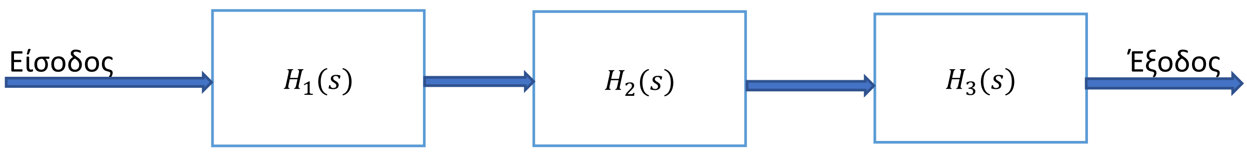
Σχήμα 3 : *Παράδειγμα συνδεσμολογίας συστημάτων*

Μεθοδολογία απλοποίησης συστημάτων

Η μεθοδολογία απλοποίησης των συστημάτων στηρίζεται σε κάποιες βασικές αρχές και 3 απλές, βασικές συνδεσμολογίες για τις οποίες είναι εύκολο να υπολογίσουμε την ολική συνάρτηση μεταφοράς, την οποία από τώρα και στο εξής θα τη θεωρούμε δεδομένη. Οι 3 βασικές συνδεσμολογίες και οι ολικές συναρτήσεις μεταφοράς παρουσιάζονται στη συνέχεια :

Συστήματα στη σειρά

Λέμε ότι κάποια συστήματα είναι στη **σειρά** όταν η έξοδος του ενός γίνεται είσοδος του άλλου. *Στην περίπτωση αυτή* ***<u>η Ολική συνάρτηση μεταφοράς είναι το γινόμενο όλων των επιμέρους συστημάτων.</u>***



$$\boldsymbol{H_{o\lambda}(s) = H_1(s) * H_2(s) * H_3(s)}$$

Σχήμα 4 : *Συστήματα στη σειρά*

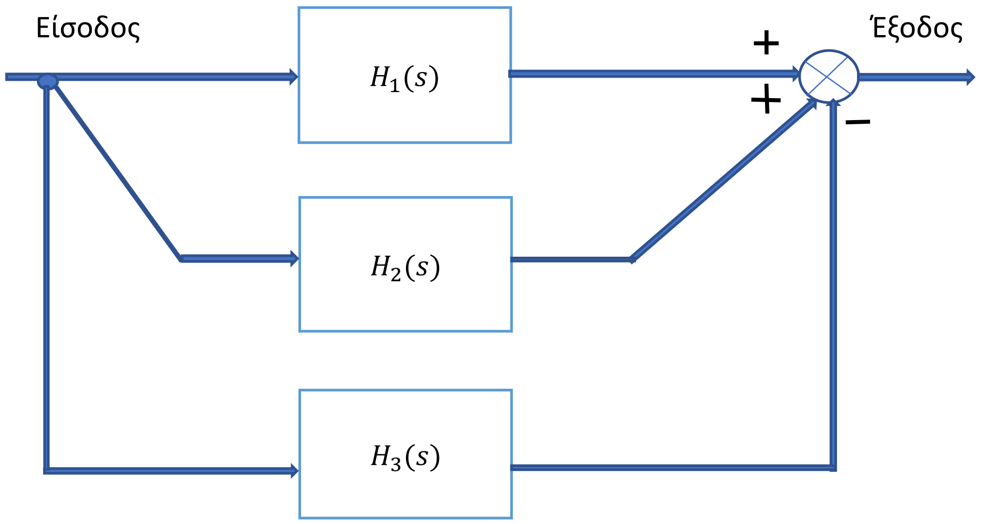
<u>Προσοχή:</u>

- Δεν υπάρχει περιορισμός πόσα συστήματα στη σειρά θα έχουμε
- Για να πούμε ότι κάποια συστήματα είναι στη σειρά δε θα πρέπει στις ενδιάμεσες συνδέσεις από την ολική είσοδο στην ολική έξοδο να μην υπάρχει ούτε κόμβος ούτε αθροιστικό σημείο

- Είναι πολύ σημαντικό να τονίζουμε κάθε φορά ότι για να ισχύσουν οι τύποι υπολογισμού της ολικής συνάρτησης μεταφοράς σε ένα πρακτικό σύστημα, πρέπει όταν τα συστήματα συνδέονται μεταξύ τους, να μη αλλάζει η συνάρτηση μεταφοράς την οποία έχουν όταν είναι μεμονωμένα. Αυτό είναι ένα πάρα πολύ σημαντικό θέμα στην πράξη, διότι κάθε φορά που δυο συστήματα συνδέονται μεταξύ τους η συνάρτηση μεταφοράς τους, αλλάζει. Λέμε σε αυτή την περίπτωση ότι το επόμενο σύστημα «φορτίζει» το προηγούμενο. ***Για να ισχύουν λοιπόν οι κανόνες συνδεσμολογίας συστημάτων θα πρέπει το ένα σύστημα να μη φορτίζει το άλλο, όπως λέμε στην τεχνική ορολογία τα συστήματα να είναι απομονωμένα μεταξύ τους.*** Αυτό στην πράξη ισχύει απόλυτα σε σπάνιες περιπτώσεις και έτσι και σε αυτή την περίπτωση προσπαθούμε να έχουμε μια καλή προσέγγιση

Συστήματα παράλληλα

Λέμε ότι δύο ή περισσότερα συστήματα είναι συνδεδεμένα παράλληλα όταν έχουν την ίδια είσοδο (κόμβος στην είσοδο) και οι έξοδοι οδηγούνται σε ένα αθροιστικό σημείο.



$$\boldsymbol{H_{\omicron\lambda}(s) = H_1(s) + H_2(s) - H_3(s)}$$

Σχήμα 5 : *Συστήματα παράλληλα*

<u>Προσοχή:</u>

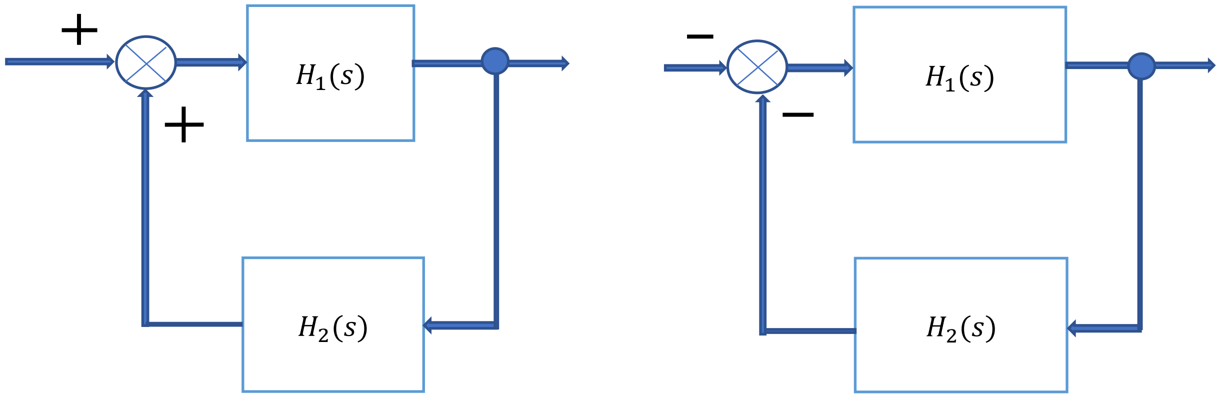
- Τα πρόσημα στον τύπο πρέπει να σημειώνονται δίπλα στο αθροιστικό σημείο
- Όπως και στη σύνδεση σειρά δεν υπάρχει περιορισμός πόσα συστήματα θα έχουμε συνδεδεμένα παράλληλα.

- Ισχύουν και εδώ η ίδιες παρατηρήσεις σχετικά με την απομόνωση των συστημάτων. Για να ισχύει στην πράξη ο τύπος της ολικής συνάρτησης της παράλληλης συνδεσμολογίας πρέπει τα συστήματα να είναι «απομονωμένα»
- Όπως και στην συνδεσμολογία σειρά για να είναι παράλληλα τα συστήματα μεταξύ ολικής εισόδου και ολικής εξόδου δεν πρέπει να υπάρχει άλλος κόμβος και άλλο αθροιστικό σημείο.

Συστήματα συνδεδεμένα σε θετική και αρνητική ανάδραση (feedback)

Η συνδεσμολογία της ανάδρασης δεν είναι απλά μία ακόμα συνδεσμολογία. Τα συστήματα αρνητικής ανάδρασης αποτελούν τη βάση των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου. Η ανάδραση είναι μια από τις σημαντικότερες λειτουργίες της φύσης την οποία ο άνθρωπος ανακάλυψε μόλις τον 19ο αιώνα και την χρησιμοποίησε για να χτίσει πάνω της τους αυτοματισμούς.

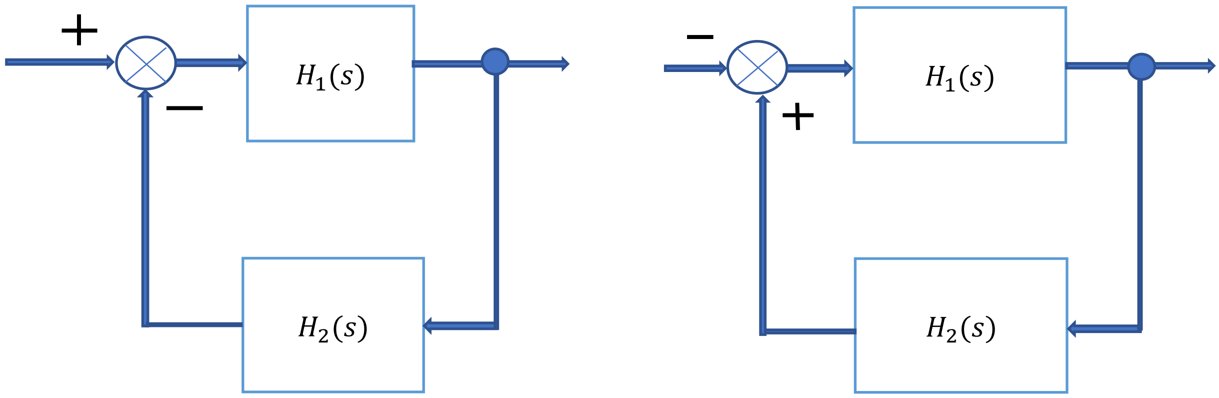
Θετική ανάδραση έχουμε όταν τα πρόσημα στο αθροιστικό σημείο είναι ίδια (ομόσημα)



***Σχήμα 6 :** Συνδεσμολογία θετικής ανάδρασης*

$$\boldsymbol{H_{o\lambda}(s) = \frac{H_1(s)}{1 - H_1(s) * H_2(s)}} \qquad \boldsymbol{H_{o\lambda}(s) = -\left[\frac{H_1(s)}{1 - H_1(s) * H_2(s)}\right]}$$

Αρνητική ανάδραση έχουμε όταν τα πρόσημα στο αθροιστικό σημείο είναι διαφορετικά (ετερόσημα)



Σχήμα 7 : *Συνδεσμολογία αρνητικής ανάδρασης*

$$\boldsymbol{H_{o\lambda}(s) = \frac{H_1(s)}{1+H_1(s)*H_2(s)}}$$

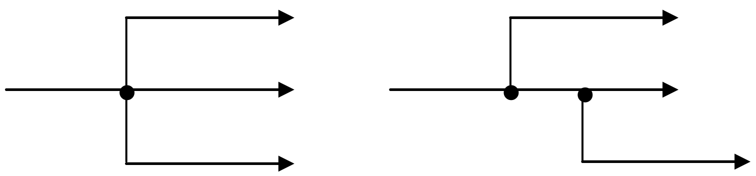
$$\boldsymbol{H_{o\lambda}(s) = -\left[\frac{H_1(s)}{1+H_1(s)*H_2(s)}\right]}$$

<u>Προσοχή:</u>

- Στην ανάδραση έχουμε επιστροφή σήματος από την έξοδο στην είσοδο όπου το σήμα προστίθεται ή αφαιρείται . Δηλαδή έχουμε ένα κύκλο του σήματος από την είσοδο στην έξοδο και πάλι στην είσοδο, γι΄ αυτό το λόγο **τα συστήματα ανάδρασης ονομάζονται και συστήματα κλειστού βρόχου.**
- ***Δεν πρέπει να γίνεται μπέρδεμα με την παράλληλη συνδεσμολογία όπου το αθροιστικό σημείο είναι στην έξοδο και ο κόμβος στην είσοδο, ενώ στην ανάδραση είναι ανάποδα.***
- ***Στη συνδεσμολογία της ανάδρασης λαμβάνουν μέρος μόνο 2 συστήματα σε αντίθεση με τις άλλες δύο συνδεσμολογίες όπου μπορούμε να έχουμε απεριόριστο αριθμό συστημάτων.***
- Ισχύουν και εδώ η ίδιες παρατηρήσεις σχετικά με την απομόνωση των συστημάτων. Για να ισχύει στην πράξη ο τύπος της ολικής συνάρτησης της παράλληλης συνδεσμολογίας πρέπει τα συστήματα να είναι «απομονωμένα»
- <u>**Προσοχή**</u> το πρόσημο του παρανομαστή στον τύπο της ανάδρασης. ***Στη θετική ανάδραση είναι μείον και στην αρνητική σύν.***

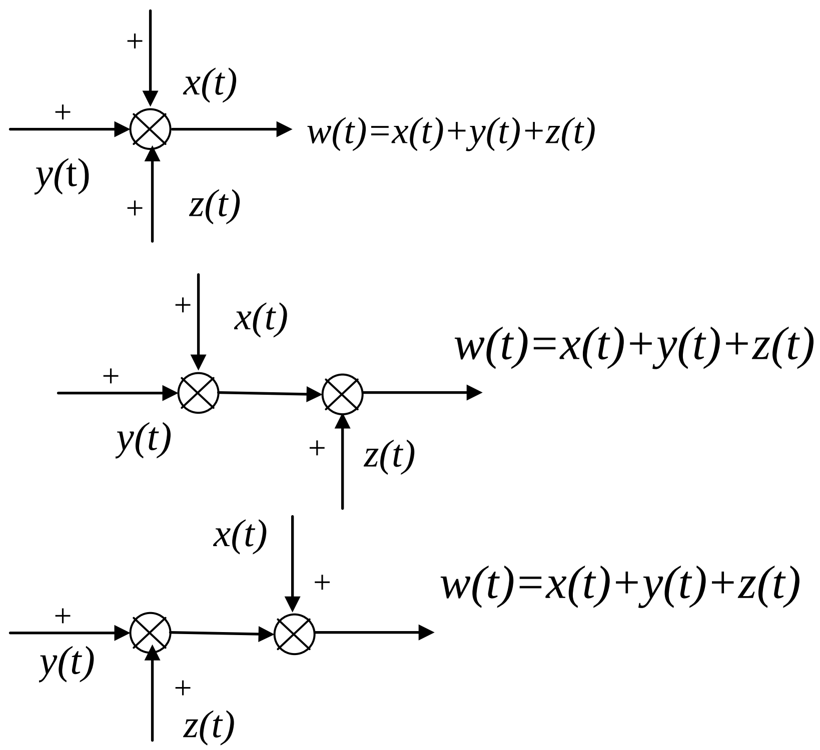
Κανόνες για τους κόμβους και τα αθροιστικά σημεία

Όταν έχουμε κόμβους δίπλα – δίπλα τότε μπορούμε να τους τοποθετήσουμε στο ίδιο σημείο, η να τους αλλάξουμε θέση. Μπορούμε ακόμα να αναλύσουμε έναν πολλαπλό κόμβο σε μικρότερους επιμέρους. Παραδείγματα δίνονται στο **σχήμα 8**



Σχήμα 8 : *Ισοδύναμες συνδεσμολογίες με κόμβους*

Τα αθροιστικά σημεία όταν είναι δίπλα – δίπλα μπορούν να αλλάζουν θέση ή να έρχονται το ένα πάνω στο άλλο αρκεί οι συνολικές είσοδοι να είναι πάντα οι ίδιες και η έξοδος να βγάζει πάντα το ίδιο άθροισμα.



Σχήμα 9: *Ισοδύναμες συνδεσμολογίες με αθροιστικά σημεία*

Διαδικασία απλοποίησης συστημάτων.

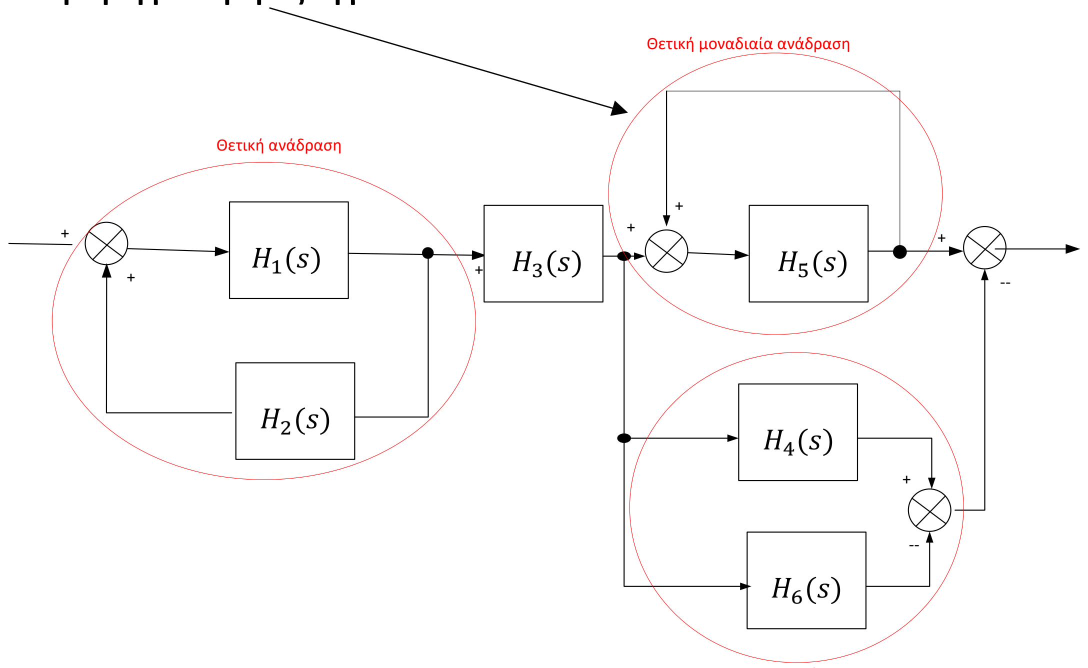
Η διαδικασία υπολογισμού της ολικής συνάρτησης μεταφοράς μιας συνδεσμολογίας συστημάτων ονομάζεται απλοποίηση συστημάτων. Για να απλοποιήσουμε μια συνδεσμολογία στηριζόμαστε στις τρεις βασικές συνδεσμολογίες που περιγράψαμε, δηλαδή στο συνολικό σύστημα προσπαθούμε να εντοπίσουμε υποσυστήματα συνδεδεμένα στη **σειρά, παράλληλα ή σε ανάδραση** τα οποία αντικαθιστούμε με ένα σύστημα που να έχει τη συνολική συνάρτηση μεταφοράς. Με τον τρόπο αυτό λαμβάνουμε μια πιο απλοποιημένη συνδεσμολογία στην οποία επαναλαμβάνουμε τα ίδια μέχρι να καταλήξουμε σε ένα και μοναδικό σύστημα.

Ας δούμε βήμα προς βήμα πως απλοποιούμε την παραπάνω συνδεσμολογία.

<u>Παράδειγμα απλοποίησης</u>

Στη συνδεσμολογία του **σχήματος 10** εντοπίζουμε υποσυστήματα τα οποία αποτελούν συγκεκριμένες συνδεσμολογίες, όπως φαίνεται στο σχήμα.

<u>Παρατήρηση:</u> όταν έχουμε σύνδεση χωρίς να υπάρχει σύστημα, εννοείται ότι υπάρχει σύστημα με **συνάρτηση μεταφοράς τη μονάδα**



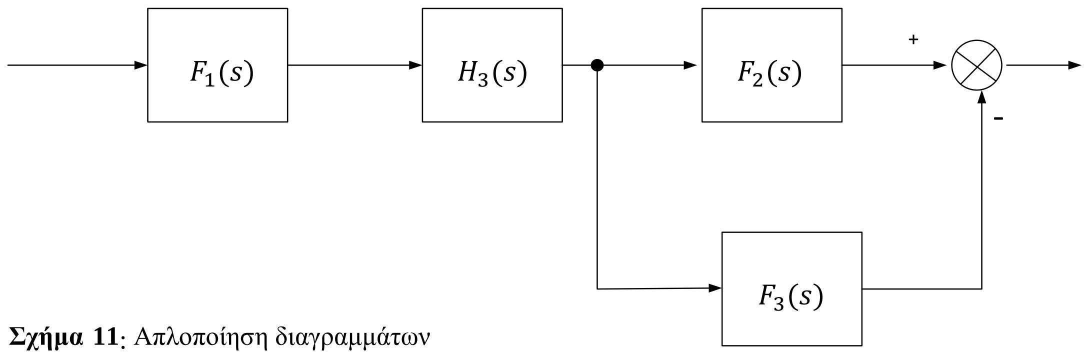
Σχήμα 10: Απλοποίηση διαγραμμάτων

Στις συνδεσμολογίες των υποσυστημάτων που εντοπίσαμε και σημειώνουμε στο σχήμα μέσα σε κύκλους, υπολογίζουμε τις συναρτήσεις των νέων συστημάτων με τα οποία τα αντικαθιστούμε και καταλήγουμε στο **σχήμα 11**:

$F_1(s) = \frac{H_1(s)}{1-H_1(s)*H_2(s)}$ έχουμε θετική ανάδραση

$F_2(s) = \frac{H_5(s)}{1-H_5(s)}$ έχουμε θετική μοναδιαία ανάδραση

$F_3(s) = H_4(s) - H_6(s)$ έχουμε παράλληλη σύνδεση.



Σχήμα 11: Απλοποίηση διαγραμμάτων

Στο απλοποιημένο σύστημα βλέπουμε μια παράλληλη σύνδεση το $F_2(s)$ και το$F_3(s)$ και στη συνέχεια όλα είναι στη σειρά. Άρα η τελική συνάρτηση μεταφοράς είναι:

$H_{o\lambda}(s) = F_1(s) * H_3(s) * [F_2(s) - F_3(s)]$ και κάνοντας τις αντικαταστάσεις έχουμε τελικά :

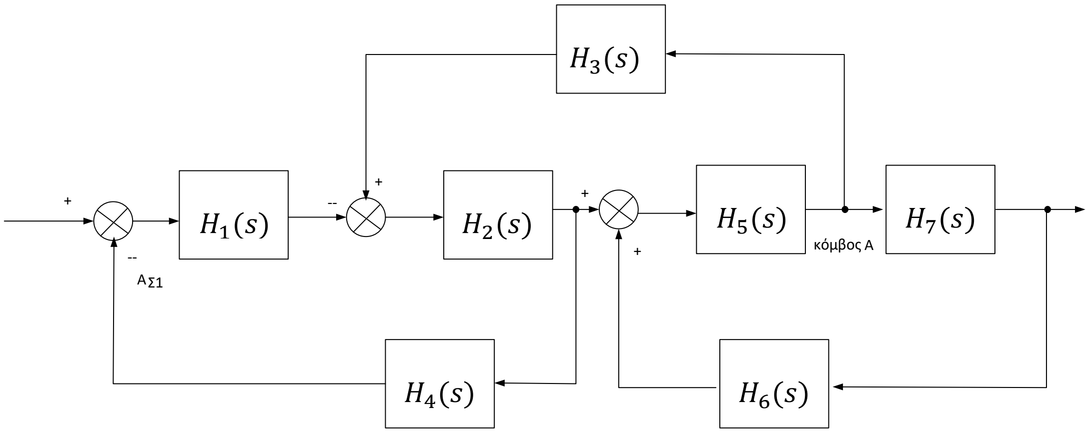
$$H_{o\lambda}(s) = F_1(s) * H_3(s) * [F_2(s) - F_3(s)] = \left[\frac{H_1(s)}{1 - H_1(s) * H_2(s)}\right] * H_3(s) * \left\{\left[\frac{H_5(s)}{1 - H_5(s)}\right] - [H_4(s) - H_6(s)]\right\}$$

Δεν συνεχίζουμε τις πράξεις, απλά θέλουμε να δείξουμε πόσο επίπονες είναι. Και να σκεφτείτε ότι η κάθε συνάρτηση μεταφοράς πρέπει στο τέλος να αντικατασταθεί, Θα δούμε βέβαια στη συνέχεια πως θα χρησιμοποιούμε τα σύγχρονα εργαλεία για να επιλύουμε σήμερα τα προβλήματα αυτά.

Το παράδειγμα απλοποίησης που μόλις επιλύσαμε είναι πάρα πολύ απλό και αυτό οφείλεται στο ότι μπορούσαμε στο κάθε βήμα να εντοπίσουμε επιμέρους κάποια από τις γνωστές συνδεσμολογίες.

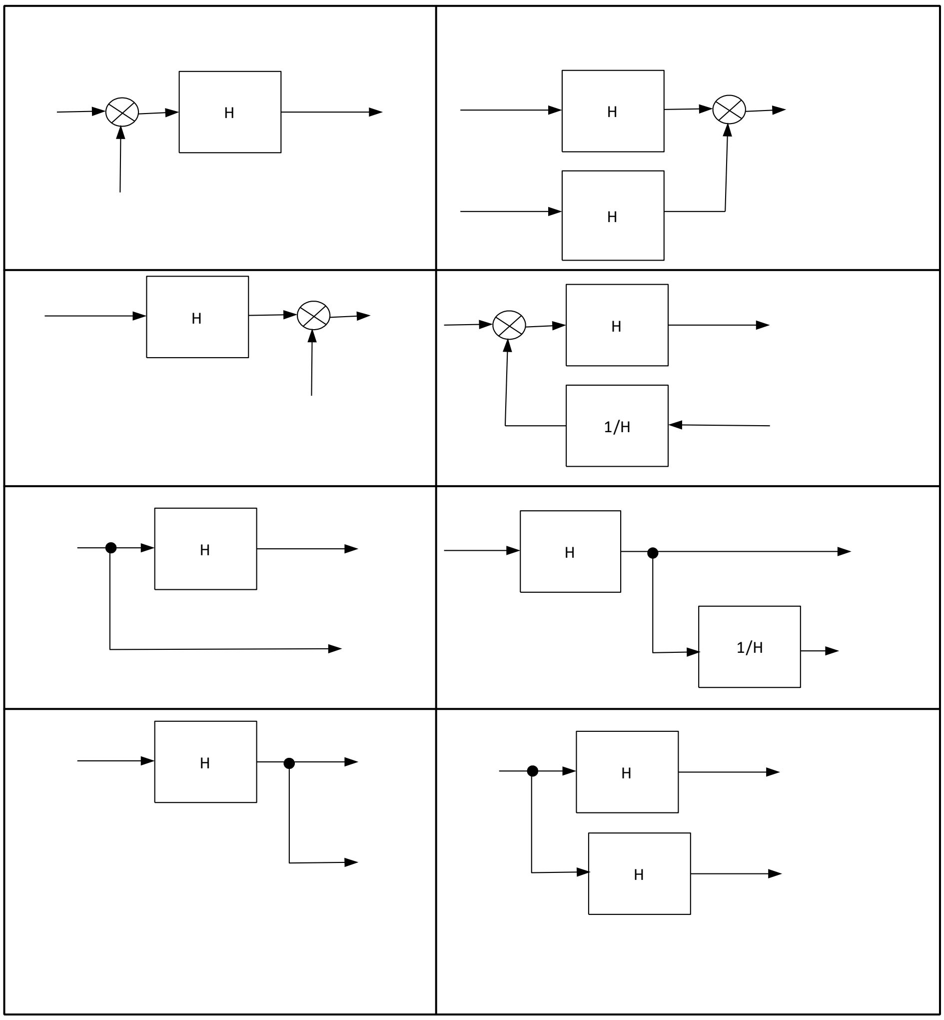
Τι γίνεται όταν δεν μπορούμε να εντοπίσουμε καμία από τις γνωστές συνδεσμολογίες. Όπως είναι το **παράδειγμα 2** που φαίνεται στο **σχήμα 12**. Στη συνδεσμολογία αυτή παρατηρούμε ότι δεν μπορούμε να εντοπίσουμε καμία επιμέρους συνδεσμολογία σειράς, παράλληλης ή ανάδρασης. Στην περίπτωση αυτή μπορούμε να μετακινήσουμε σύμφωνα με καθορισμένους κανόνες κάποιον κόμβο ή κάποιο αθροιστικό σημείο έτσι ώστε να δημιουργήσουμε κάποια συνδεσμολογία και να ξεκινήσουμε. Μερικοί από αυτούς τους κανόνες δίνονται παρακάτω στο **πίνακα 1**

Παράδειγμα 2: θα εφαρμόσουμε τις εξής μετακινήσεις: θα μεταφέρουμε τον κόμβο Α στην έξοδο του συστήματος $H_7(s)$ και το αθροιστικό σημείο ΑΣ1 από την είσοδο στην έξοδο του $H_1(s)$.



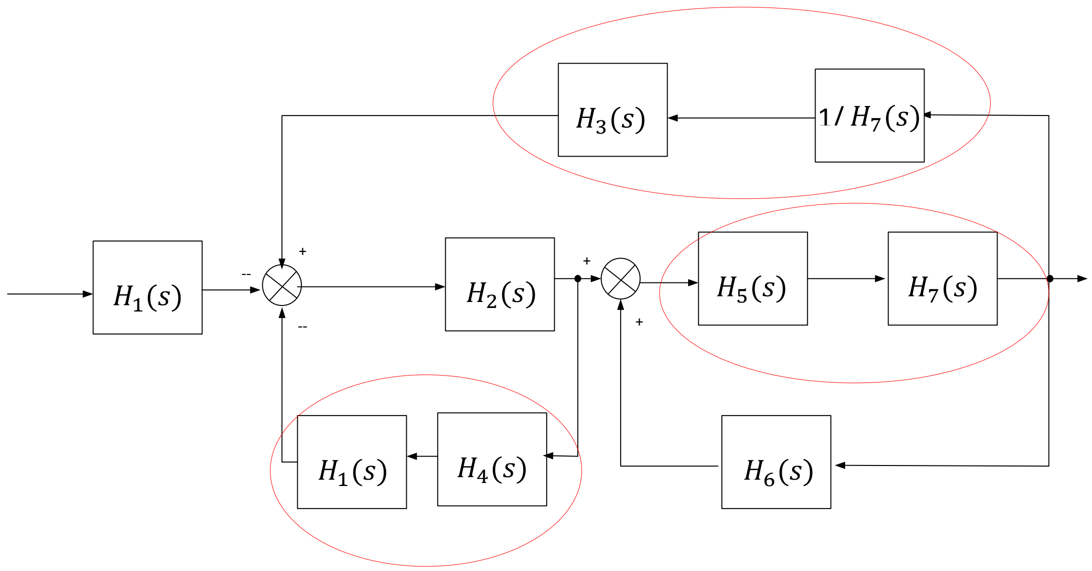
Σχήμα 12

Πίνακας μεταφοράς κόμβων και αθροιστικών σημείων



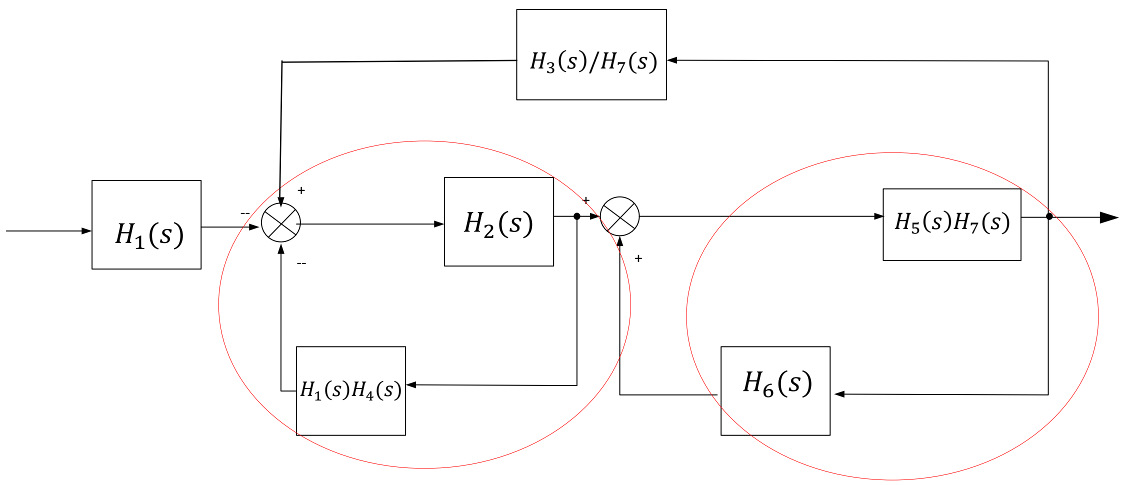
Πίνακας 1

Μετά τη μετακίνηση των σημείων αυτών και σύμφωνα με τον **πίνακα 1** προκύπτει το παρακάτω **σχήμα13** στο οποίο μπορούμε πλέον να βρούμε σειρές και να πάμε στο επόμενο απλοποιημένο σχήμα.



Σχήμα 13: Απλοποίηση διαγραμμάτων

Έτσι πάμε στο επόμενο απλοποιημένο σχήμα, όπου βλέπουμε τις δύο αναδράσεις και έχουμε:

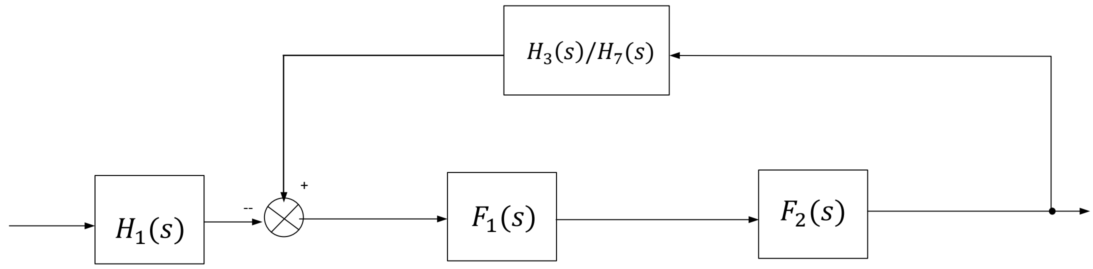


Σχήμα 14: Απλοποίηση διαγραμμάτων

$$F_1(s) = \frac{H_2(s)}{1-H_2(s)*H_1(s)*H_4(s)}$$ θετική ανάδραση

$$F_2(s) = \frac{H_5(s)*H_7(s)}{1-H_5(s)*H_7(s)*H_6(s)}$$ θετική ανάδραση

Και έτσι οδηγούμαστε στο πιο κάτω απλοποιημένο σύστημα

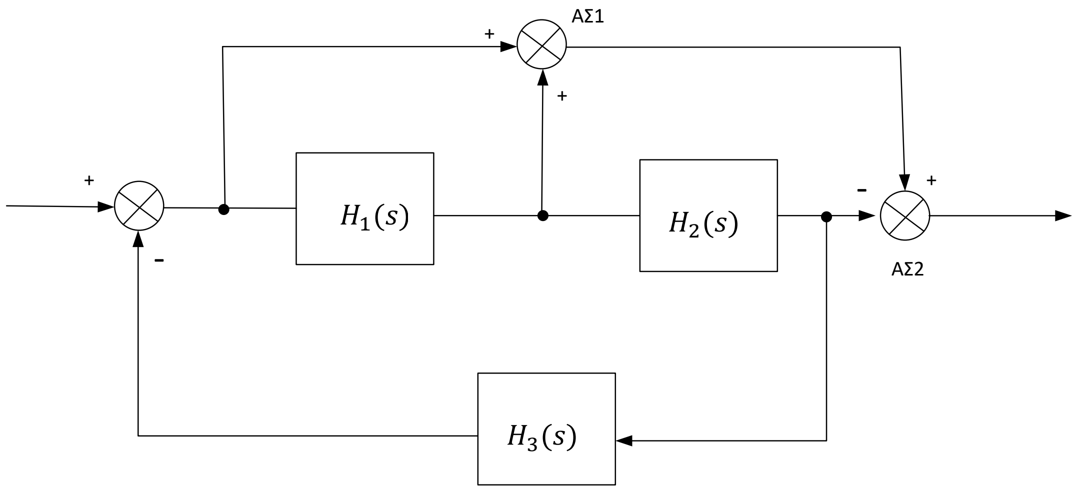


Σχήμα 15: Απλοποίηση διαγραμμάτων

και τελικά έχουμε μια συνδεσμολογία αρνητικής ανάδρασης η οποία είναι στη σειρά με την $H_1(s)$:

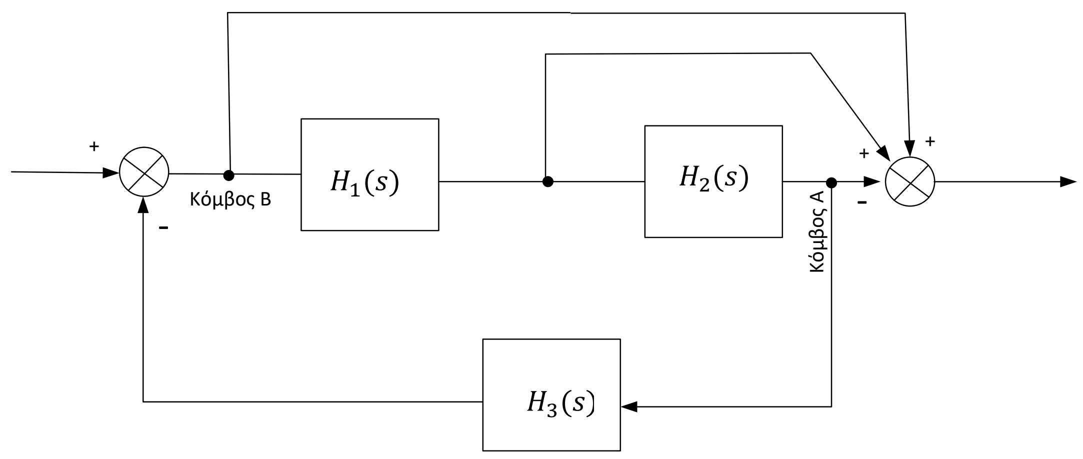
$H_{o\lambda}(s)$=$H_1(s)\left[-\frac{F_1(s)*F_2(s)}{1+\frac{F_1(s)*F_2(s)*H_3(s)}{H_7(s)}}\right]$ και στην οποία κάνουμε πράξεις ρουτίνας για να βρούμε την τελική συνάρτηση

<u>Παράδειγμα 3</u>



Σχήμα 16: Απλοποίηση διαγραμμάτων

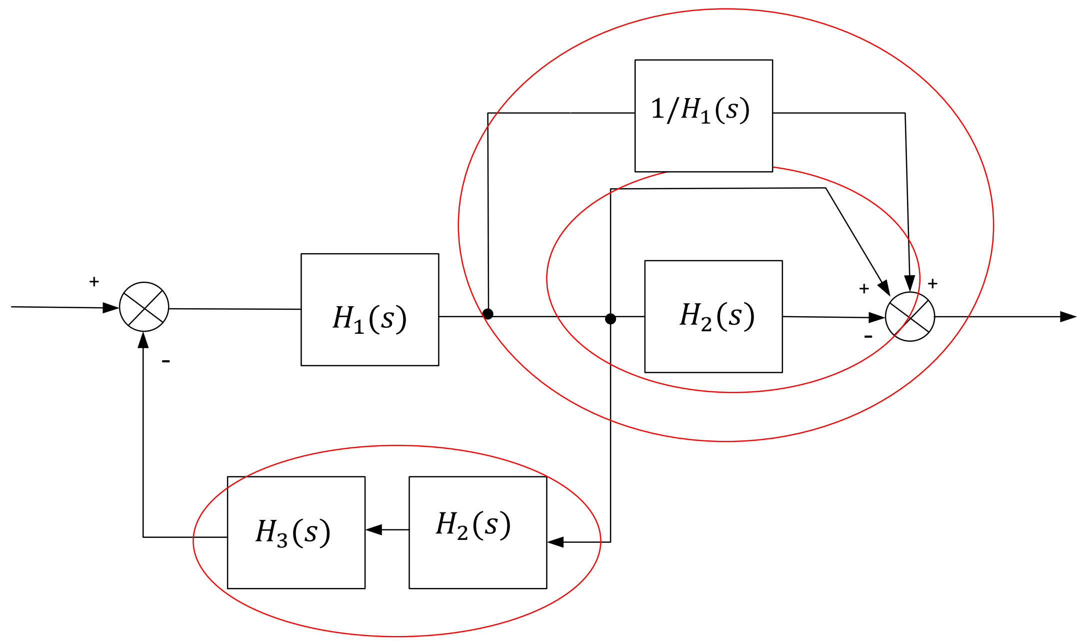
Στο σύστημα του παραδείγματος 3 τα αθροιστικά σημεία ΑΣ1 και ΑΣ2 επειδή είναι δίπλα δίπλα μπορούν να τοποθετηθούν το ένα πάνω στο άλλο οπότε έχουμε το σύστημα του **σχήματος 17**



Σχήμα 17: Απλοποίηση διαγραμμάτων

Στο σύστημα αυτό δεν υπάρχει καμία συνδεσμολογία που να μπορούμε να απλοποιήσουμε και για αυτό θα μετακινήσουμε τον κόμβο Α από την έξοδο στην είσοδο του $H_2(s)$

Επίσης θα μετακινήσουμε τον κόμβο Β από την είσοδο του $H_1(s)$ στην έξοδο. Και έτσι θα έχουμε:



Σχήμα 18: Απλοποίηση διαγραμμάτων

Ήδη στο σύστημα που προέκυψε έχουμε σημειώσει την σειρά των H_3 και H_2 και την παράλληλη σύνδεση των $1/H_1$, H_2 και της μονάδας. Τέλος μένει μια αρνητική ανάδραση του H_1 με τη σειρά των H_2 και H_3, και άρα έχουμε:

$$H_{o\lambda}(s) = \left[\frac{H_1(s)}{1 + H_1(s) * H_3(s) * H_2(s)}\right] * \left[\frac{1}{H_1(s)} + 1 - H_2(s)\right]$$

Τι συμβαίνει στην πράξη όταν συνδέουμε συστήματα στη σειρά, παράλληλα, με θετική ανάδραση και αρνητική ανάδραση.

Είναι πολύ σημαντικό στην πράξη, όλα αυτά που μας δίνουν τα μαθηματικά και οι θεωρίες να βλέπουμε τι σημαίνουν και πως τα αντιλαμβανόμαστε. Στην παράγραφο αυτή θα σχολιάσουμε ακριβώς τι γίνεται με την χρονική απόκριση όταν διασυνδέουμε συστήματα, πάντα με την παραδοχή ότι το ένα δε φορτίζει το άλλο.

Αυτό που μας ενδιαφέρει κυρίως είναι τι γίνεται με την ταχύτητα της απόκρισης και με το αν έχει ταλαντώσεις η μεταβατική κατάσταση, το θέμα της τελικής τιμής της απόκρισης της περισσότερες φορές δε μας ενδιαφέρει. Αν το σκεφτούμε με την απλή διαίσθηση θα λέγαμε ότι όταν τα συστήματα συνδέονται στη σειρά η καθυστέρηση του κάθε συστήματος αυξάνει την καθυστέρηση της τελικής απόκρισης. Αντίθετα στα συστήματα στη σειρά φαίνεται ότι η καθυστέρηση της τελικής θα είναι περίπου ίδια με την καθυστέρηση του χειρότερου συστήματος που συμμετέχει στην παράλληλη σύνδεση. Η διαίσθησή όμως δεν μας βοηθάει καθόλου όταν έχουμε διασύνδεση ανάδρασης, αρνητική ή θετική. Ας δούμε λοιπόν πρακτικά σε δύο παραδείγματα τι γίνεται όταν συνδέσουμε μεταξύ τους δύο συστήματα. Βέβαια θα επιλέξουμε συστήματα των οποίων οι έξοδοι θα έχουν σταθερή τελική τιμή (ευσταθή συστήματα όπως θα δούμε σε επόμενα κεφάλαια)

<u>Παράδειγμα 4</u>

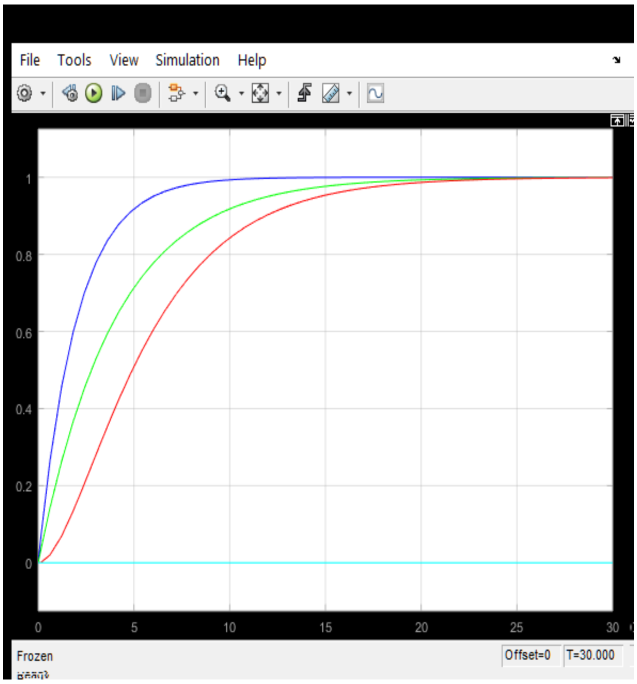
Έχουμε δύο συστήματα με συναρτήσεις μεταφοράς

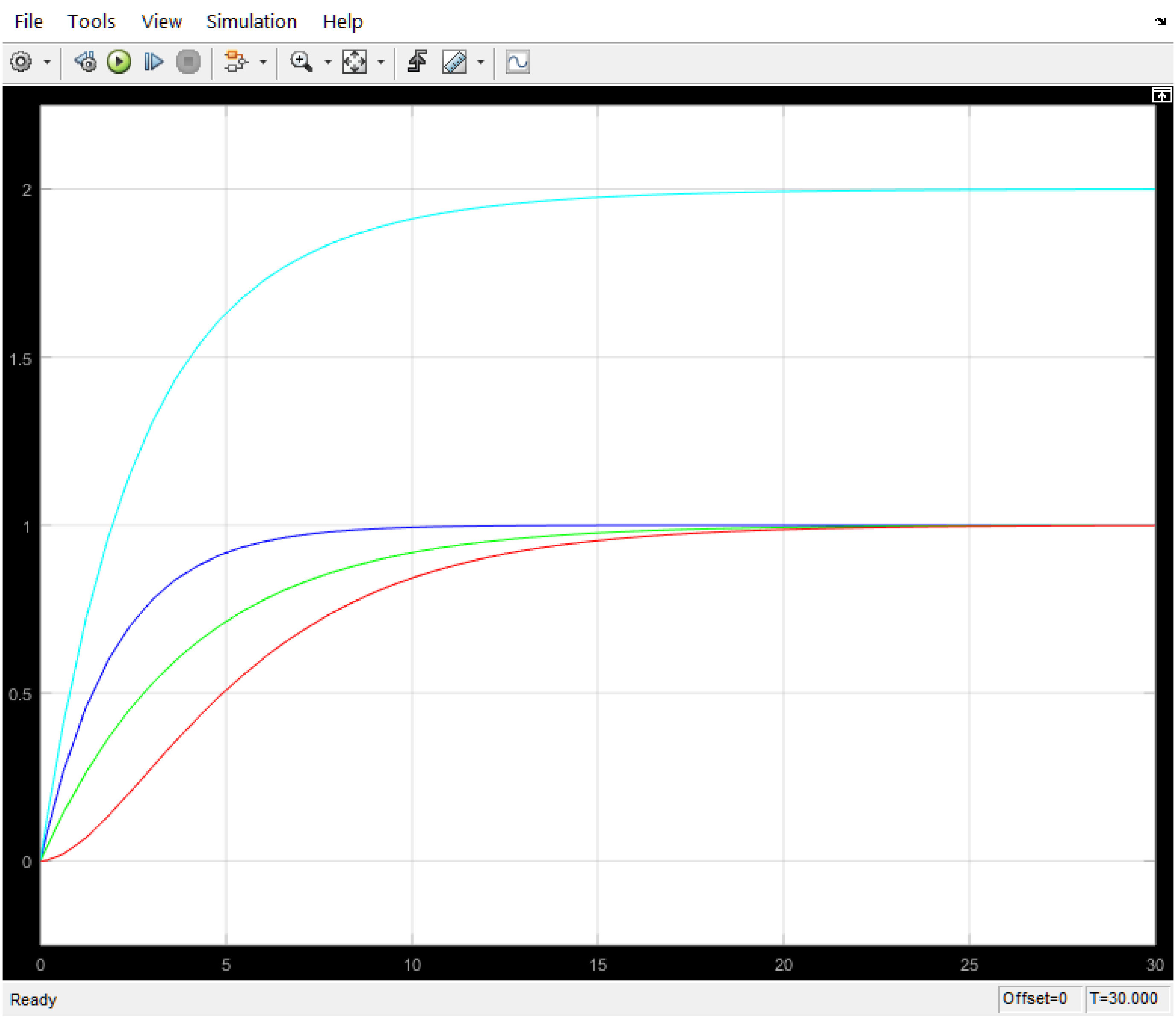
$H_1(s) = \frac{1}{2s+1}$ (μπλε) και $H_2(s) = \frac{1}{4s+1}$ (πράσινο)

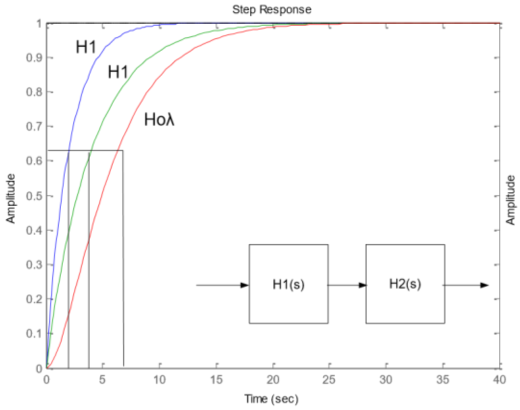
συνδέουμε τα συστήματα όπως φαίνεται στα **σχήματα 19 και 20**, και παίρνουμε τις αντίστοιχες εικόνες, οι αποκρίσεις είναι σχεδιασμένες σε κλίμακες χρόνου ίδιες, έτσι που άσχετα με τις τιμές της εξόδου, οι χρόνοι να είναι συγκρίσιμοι.

Παρατηρώντας με τη σειρά τις εικόνες παρατηρούμε:

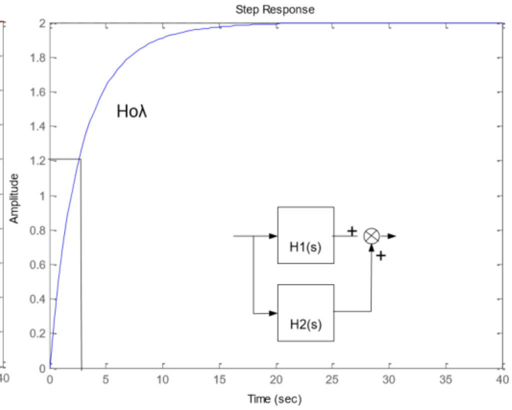
- ***Στην συνδεσμολογία σειράς*** **πράγματι η τελική απόκριση του συστήματος Ηολ έχει καθυστέρηση περίπου το άθροισμα των καθυστερήσεων του κάθε επιμέρους συστήματος (α)**
- ***Στην παράλληλη συνδεσμολογία*** **ο χρόνος καθυστέρησης είναι περίπου ίδιος με το χρόνο καθυστέρησης του χειρότερου συστήματος (β)**


File Tools View Simulation Help
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0 5 10 15 20 25 30
Frozen
Offset=0
T=30.000


File Tools View Simulation Help
2
1.5
1
0.5
0
0 5 10 15 20 25 30
Ready
Offset=0
T=30.000

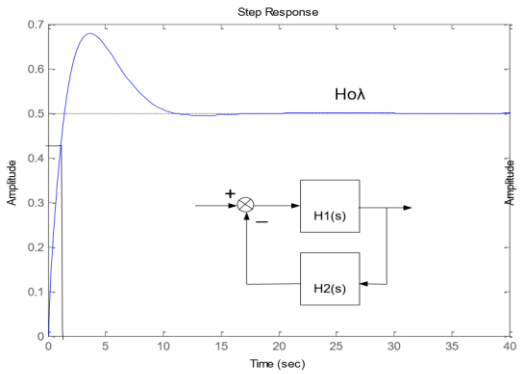


(α)

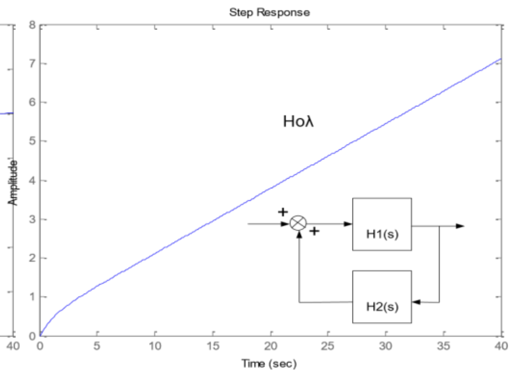


(β)

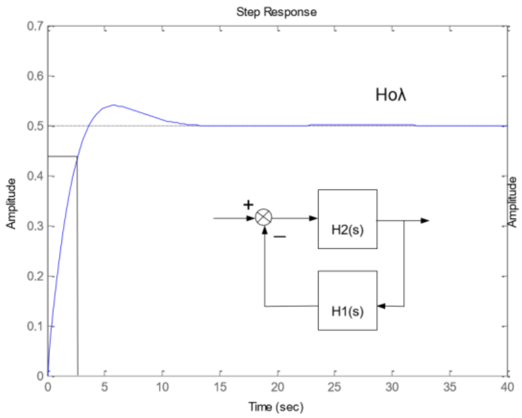
- ***Στη συνδεσμολογία θετικής ανάδρασης*** **όπως και να συνδέσουμε τα δύο συστήματα, αλλά και όταν βάζουμε μοναδιαία ανάδραση η έξοδος του ολικού συστήματος είναι αύξουσα (έχουμε αστάθεια) (σχήματα δ,ζ)**
- **Στη συνδεσμολογία αρνητικής ανάδρασης παρατηρούμε ότι η έξοδος έχει μικρότερη καθυστέρηση από την καθυστέρηση του συστήματος που έχουμε στον ορθό βρόχο. Δηλαδή βάζοντας αρνητική ανάδραση κάνουμε ένα σύστημα να έχει πιο γρήγορη απόκριση(σχήματα γ,ε).**



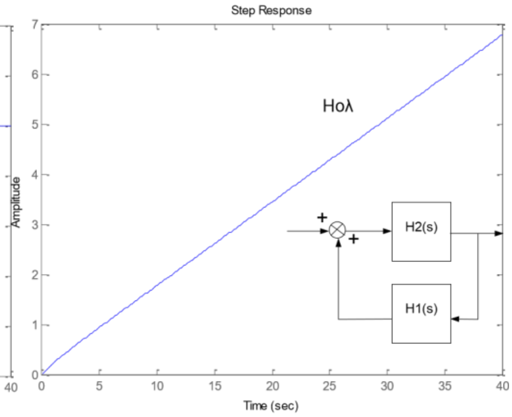
(γ)



(δ)

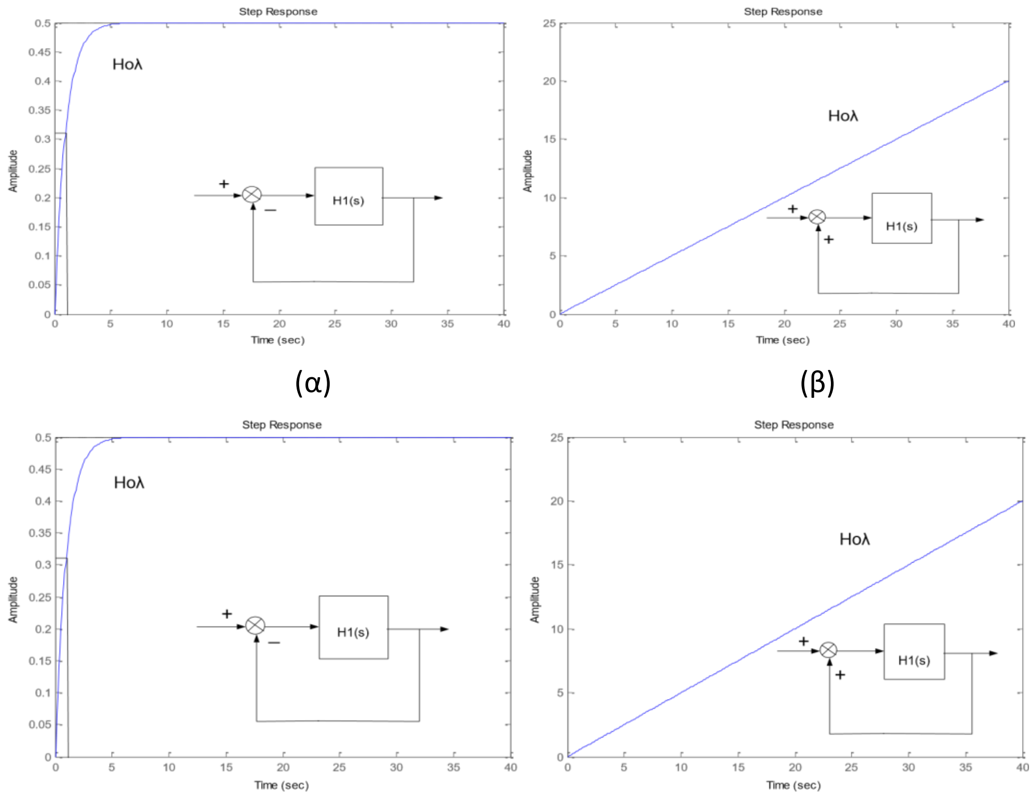


(ε)



(ζ)

Σχήμα 19



(α) (β)

(γ) (δ)

Σχήμα 20

Αυτό είναι ένα από τα πολύ σπουδαία χαρακτηριστικά της αρνητικής ανάδρασης με πάρα πολλές εφαρμογές. Για την ανάδραση θα μιλήσουμε διεξοδικά σε επόμενη ενότητα. Παρατηρούμε βέβαια ότι στην αρνητική ανάδραση εμφανίζεται ταλάντωση, αυτό βέβαια είναι συνυφασμένο με την ταχύτητα του συστήματος. Για το καταλάβουμε πρακτικά αυτό το θέμα ας σκεφτούμε το εξής παράδειγμα. Ας φανταστούμε ότι έχουμε μια βελόνα ενός οργάνου την οποία καθοδηγούμε χειροκίνητα. Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να τοποθετήσουμε τη βελόνα σε μια ένδειξη. Αν επιχειρήσετε να το κάνετε αργά σίγουρα θα την τοποθετήσετε ασφαλώς στην ένδειξη. Αν επιχειρήσετε να το κάνετε γρήγορα, σίγουρα θα περάσετε την ένδειξη και θα πρέπει να διορθώσετε προς την αντίθετη κατεύθυνση τη βελόνα. Όσο πιο γρήγορα επιχειρήσετε να το κάνετε τόσο μεγαλύτερες θα είναι η ταλαντώσεις που θα κάνετε στην προσπάθεια σας να τοποθετήσετε τη βελόνα.

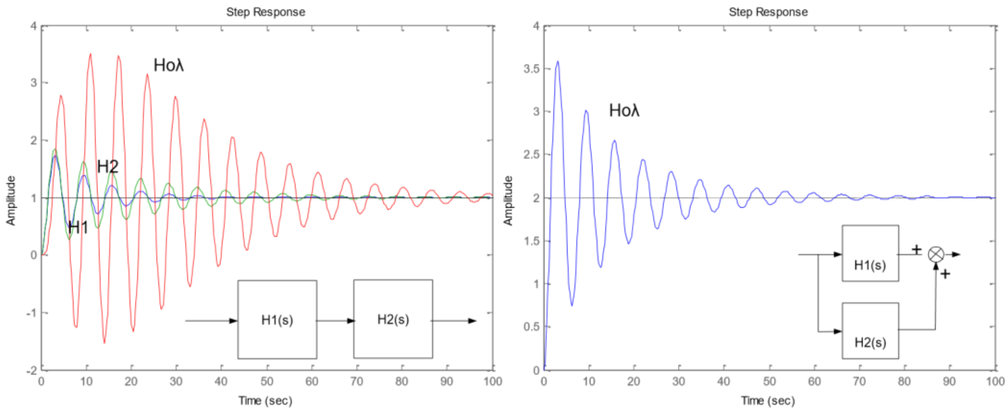
Παράδειγμα 5

Ας επιλέξουμε στη συνέχεια δύο συστήματα τα οποία να έχουν αποσβενυμένες

ταλαντώσεις με συναρτήσεις μεταφοράς

$H_1(s) = \frac{1}{s^2+2s+1}$ και $H_1(s) = \frac{1}{s^2+4s+1}$

στη συνέχεια συνδέουμε τα συστήματα όπως και πριν και έχουμε τις αποκρίσεις που βλέπουμε στο **σχήμα 21**



(α) (β)

Σχήμα 21

Οι παρατηρήσεις μας ταιριάζουν με όσα παρατηρήσαμε και στο προηγούμενο παράδειγμα, δηλαδή:

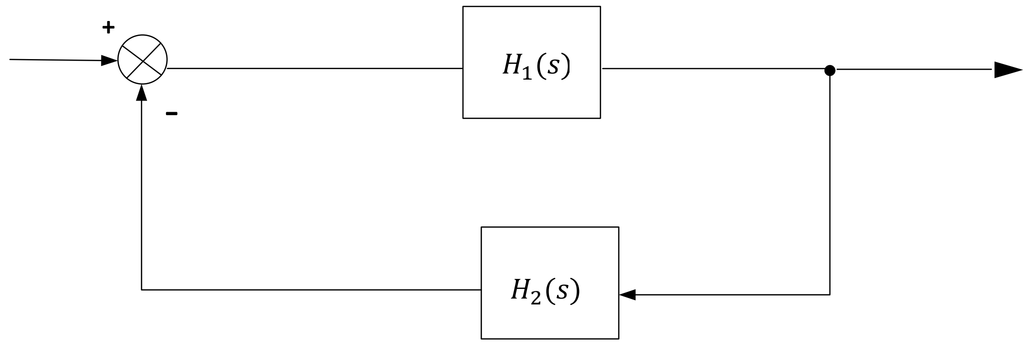
- **Στα συστήματα σύνδεσης σειράς έχουμε μια ταλάντωση η οποία επηρεάζεται από τους πόλους και των δύο συστημάτων (σχήμα 21 α)**
- **Στα συστήματα σύνδεσης παράλληλα η ταλάντωση είναι περίπου ίδια, αλλά με μεγαλύτερο πλάτος από εκείνη που έχουμε στο σύστημα H2 πού έχει την πιο «αργή» (σχήμα 21 β)**

ΜΕΡΟΣ Β : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ 3

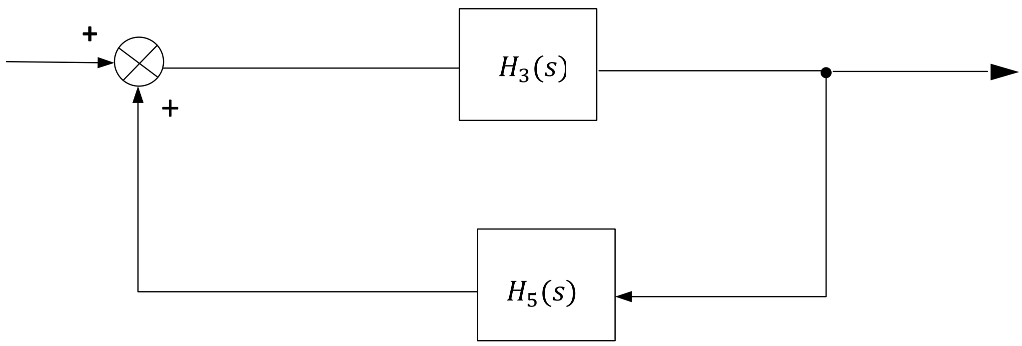
Α) Απλοποιήστε τα παρακάτω συστήματα κάνοντας τις κατάλληλες τροποποιήσεις και βρείτε την τελική συνάρτηση μεταφοράς

Σημείωση : Μόνο για την συνδεσμολογία 1 και 2 θα γίνουν όλες οι πράξεις

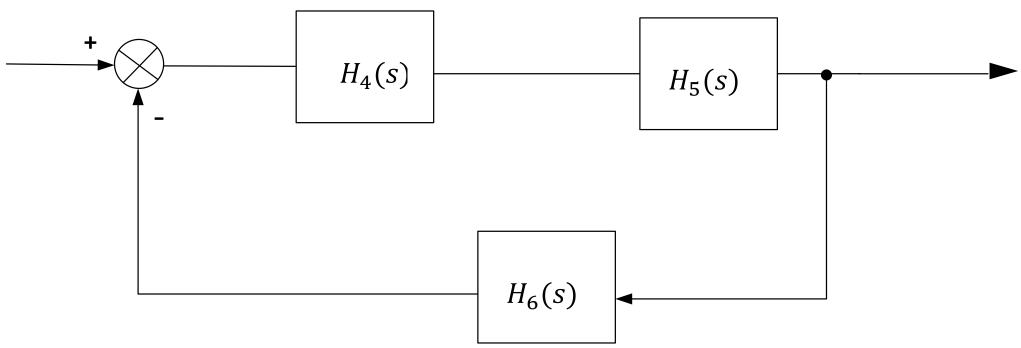
1.



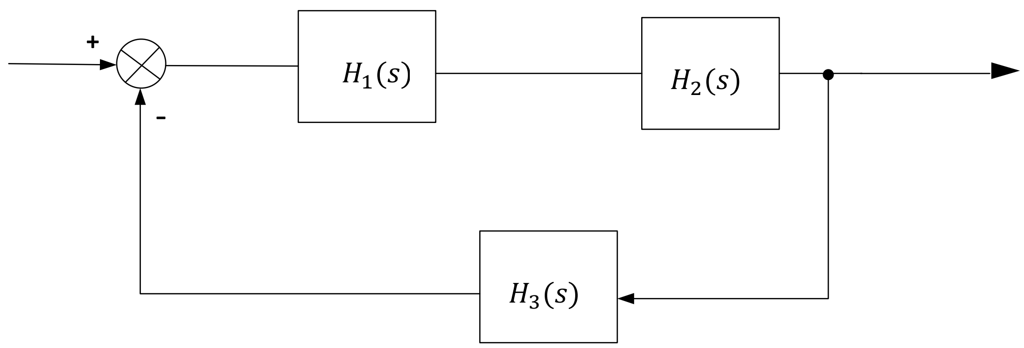
2.



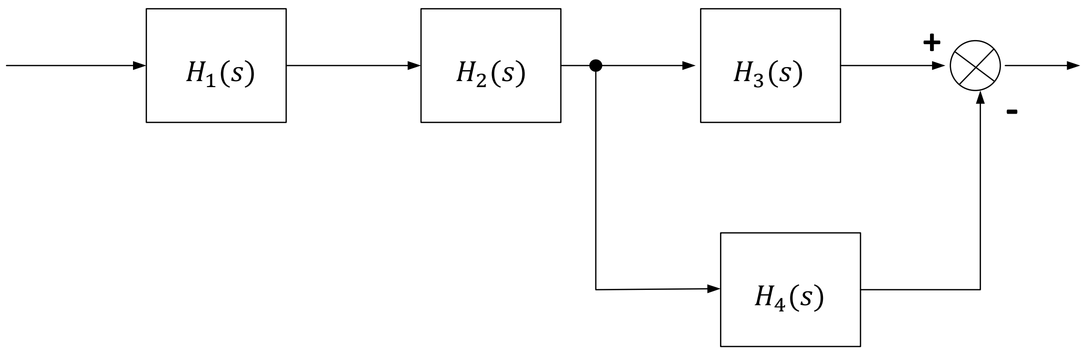
3.



4.



5.



Όπου :

$H_1(s)=\frac{a}{s}$ $\quad H_2(s)=\frac{a}{s+1}$ $\quad H_3(s)=\frac{a}{s+2}$ $\quad H_4(s)=\frac{10a}{s+1}$ $\quad H_5(s)=\frac{a}{s+3}$ $\quad H_6(s)=\frac{a}{s+4}$

Όπου α το τελευταίο ψηφίο του ΑΜ του φοιτητή-τριας και σε περίπτωση που αυτό είναι μηδέν το α παίρνει τιμή 1 .