

**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα**

**Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας**

Ιατρικά Ηλεκτρονικά - Ε

**Ενότητα 3: Άσκηση 3 – Ενισχυτής διαφορών**

Δρ. Παντελής Ασβεστάς

Τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής Τεχνολογίας T.E.

|  |  |
| --- | --- |
| Το περιεχόμενο του μαθήματος διατίθεται με άδεια CreativeCommons εκτός και αν αναφέρεται διαφορετικά | Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους. |

|  |  |
| --- | --- |
| ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3 | Ενισχυτής Διαφορών |

|  |  |
| --- | --- |
| ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: | ΔΙΩΡΟ: |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ΕΠΩΝΥΜΟ: | ΟΝΟΜΑ: | ΑΜ: |
| ΕΠΩΝΥΜΟ: | ΟΝΟΜΑ: | ΑΜ: |
| ΕΠΩΝΥΜΟ: | ΟΝΟΜΑ: | ΑΜ: |

Περιεχόμενα

[1 Στόχος 1](#_Toc383267164)

[2 Θεωρητικό υπόβαθρο 1](#_Toc383267165)

[3 Εργαστηριακή διαδικασία 3](#_Toc383267166)

[3.1 Υλικά 3](#_Toc383267167)

[3.2 Thermistor 3](#_Toc383267168)

[3.3 Γέφυρα Wheatstone 4](#_Toc383267169)

[3.4 Ενισχυτής διαφορών 6](#_Toc383267170)

[4 Ερωτήσεις κατανόησης 8](#_Toc383267171)

# Στόχος

Στην εργαστηριακή άσκηση αυτή θα μελετηθεί η λειτουργία του ενισχυτή διαφορών (difference amplifier).

# Θεωρητικό υπόβαθρο

Ένας ενισχυτής διαφορών είναι ένα κύκλωμα δύο εισόδων και μίας εξόδου και αποσκοπεί στο να ενισχύει τη διαφορά τάσης μεταξύ των δύο εισόδων του, ενώ ταυτόχρονα απορρίπτει όποιο κοινό σήμα εμφανίζεται σε αυτές. Οι ενισχυτές διαφορών χρησιμοποιούνται σε συστήματα καταγραφής βιοσημάτων (ηλεκτροκαρδιογράφος, ηλεκτρομυογράφος, μέτρηση γαλβανικής απόκρισης δέρματος κ.α.), σε συστήματα αισθητήρων (συστήματα μέτρησης θερμοκρασίας, βάρους, πίεσης κ.α.), σε συστήματα αναλοψηφιακής μετατροπής κ.λπ.

Η γενική δομή ενός ενισχυτή διαφορών φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 1. Ενισχυτής διαφορών.

Ισχύει ότι: , , όπου  είναι ορίζεται ως το **κοινό σήμα** και  ορίζεται ως το **διαφορικό σήμα**. Το κοινό σήμα είναι ανεπιθύμητο και πρέπει να απορρίπτεται. Για παράδειγμα, σε έναν ηλεκτροκαρδιογράφο, τοποθετούνται ηλεκτρόδια στο δεξιό και στο αριστερό χέρι. Στην περίπτωση αυτή επιθυμείται να ενισχύεται μόνο η διαφορά των σημάτων από τα δύο ηλεκτρόδια και να απορρίπτεται όποιο κοινό σήμα υπάρχει σε αυτά. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με χρήση ενός ενισχυτή διαφορών.

Αποδεικνύεται ότι η έξοδος, , ενός ενισχυτή διαφορών δίνεται από τον τύπο:



όπου είναι **διαφορικό κέρδος**:

 

και  είναι το **κέρδος κοινού σήματος**

 

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, επιθυμείται να ενισχύεται μόνο το διαφορικό, , σήμα και να απορρίπτεται το κοινό σήμα . Με άλλα λόγια είναι επιθυμητό να είναι . Αποδεικνύεται ότι αυτό συμβαίνει όταν:

 

Στην περίπτωση αυτή, το διαφορικό κέρδος απλοποιείται στην ακόλουθη σχέση:

 

Όμως, στην πράξη οι αντιστάσεις παρουσιάζουν ανοχή με αποτέλεσμα να μην ισχύει ακριβώς η σχέση , με αποτέλεσμα το κέρδος κοινού σήματος  να μην είναι ακριβώς μηδέν. Για να ποσοτικοποιηθεί το μέγεθος του κέρδους κοινού σήματος χρησιμοποιείται ο λόγος απόρριψης κοινού σήματος (Common Mode Rejection Ratio - CMRR) που εξ ορισμού είναι ο λόγος του διαφορικού κέρδους, προς το κέρδος κοινού σήματος:

 

Στην περίπτωση του ενισχυτή διαφορών, αποδεικνύεται ότι αν οι αντιστάσεις παρουσιάζουν ανοχή (π.χ. 5%), τότε η μικρότερη τιμή που μπορεί να πάρει το CMRR δίνεται από την ακόλουθη προσεγγιστική σχέση:

 

# Εργαστηριακή διαδικασία

**Όσα ερωτήματα έχουν την ένδειξη Π πρέπει να έχουν προετοιμαστεί και απαντηθεί πριν την εκτέλεση της άσκησης.**

**Στόχος της εργαστηριακής διαδικασίας είναι να υλοποιηθεί ένα κύκλωμα μετατροπής θερμοκρασίας σε τάση με χρήση του ενισχυτή διαφορών. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθεί ένα thermistor, μία γέφυρα Wheatstone και ένας ενισχυτής διαφορών.**

## **Υλικά**

* 1 ολοκληρωμένο LF411
* 2 πυκνωτές παράκαμψης 100nF
* 2 αντιστάσεις 10kΩ ανοχής 0,1%
* 2 αντιστάσεις 200kΩ ανοχής 0,1%
* 2 αντιστάσεις 1ΜΩ ανοχής 0,1%
* 1 αντίσταση 15kΩ
* 1 μεταβλητή αντίσταση (trimmer) ακριβείας 100kΩ
* 1 thermistor τύπου NTC 10kΩ

## Thermistor

Ένα thermistor είναι μία αντίσταση, της οποίας η τιμή εξαρτάται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Υπάρχουν δύο είδη thermistor: αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας (NTC) και θετικού συντελεστή θερμοκρασίας (PTC). Στα thermistor NTC, η τιμή της αντίστασης μειώνεται καθώς αυξάνει η θερμοκρασία. Αντίστοιχα, στα thermistor PTC, η τιμή της αντίστασης αυξάνεται καθώς αυξάνει η θερμοκρασία.

**Στην παρούσα άσκηση θα χρησιμοποιηθεί ένα thermistor τύπου NTC με ονομαστική τιμή αντίστασης 10kΩ. Αυτό σημαίνει ότι η τιμή της αντίστασης είναι 10kΩ σε θερμοκρασία 25**$℃$**.**

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Π | Να βρεθεί η σχέση που συνδέει την τιμή της αντίστασης με τη θερμοκρασία σε thermistor NTC, με χρήση της παραμέτρου *β*. |
| Ε | * Να επιβεβαιωθεί ότι οι τάσεις τροφοδοσίας είναι **±15V**.
* Μετρήστε με το πολύμετρο την τιμή της αντίστασης, $R\_{0}$, που παρουσιάζει το thermistor:

$$R\_{0}=$$* Κρατώντας σταθερά με δύο δάκτυλα την κεφαλή του thermistor, μετρήστε πάλι την τιμή της αντίστασης, $R$, που παρουσιάζει το thermistor:

$$R=$$* Συγκρίνετε τις δύο μετρήσεις και εξηγήστε που οφείλεται η διαφορά που παρατηρείται.
 |

## Γέφυρα Wheatstone

Η γέφυρα Wheatstone είναι ένα από τα πιο βασικά κυκλώματα της ηλεκτροτεχνίας, το οποίο επιτρέπει την εύρεση την τιμή μίας άγνωστης αντίστασης. To σχεδιαστικό διάγραμμα της γέφυρας Wheatstone παρουσιάζεται στο Σχήμα 2. Η γέφυρα λέγεται ότι ισορροπεί όταν η διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων Β και Α είναι μηδέν.



Σχήμα 2. Γέφυρα Wheatstone.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Π | Ποια σχέση πρέπει να ισχύει ανάμεσα στις αντιστάσεις της γέφυρας Wheatstone του προηγούμενου σχήματος, ώστε να υπάρχει ισορροπία;Θεωρώντας ότι η γέφυρα Wheatstone του προηγούμενου σχήματος είναι σε ισορροπία, τι θα συμβεί εάν μειωθεί η τιμή της αντίστασης $R\_{2}$; |
| Ε | Υλοποιήστε τη γέφυρα Wheatstone, όπως δείχνει το Σχήμα 3(α). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήστε ως $R\_{3}$ μία αντίσταση 10kΩ ανοχής 0,1%, $R\_{4}$ μία αντίσταση 10kΩ ανοχής 0,1%, $R\_{1}$ μία αντίσταση 15kΩ και $R\_{2}$ ένα thermistor 10kΩ. Επίσης συνδέστε παράλληλα στην $R\_{1}$ μία μεταβλητή αντίσταση 100kΩ. **Ενδεικτική** υλοποίηση σε breadboard φαίνεται στο Σχήμα 3(β).(α)(β)Σχήμα 3. (α) Κυκλωματικό διάγραμμα γέφυρας Wheatstone με thermistor. (β) Ενδεικτική υλοποίηση σε breadboard.* Ρυθμίστε τη μεταβλητή αντίσταση ώστε η γέφυρα να είναι σε ισορροπία.
* Μετρήστε με το πολύμετρο τη διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων Β και Α:

$$V\_{BΑ(1)}=V\_{B(1)}-V\_{Α\left(1\right)}=$$* Κρατώντας σταθερά με δύο δάκτυλα την κεφαλή του thermistor, μετρήστε πάλι την τιμή της διαφοράς δυναμικού μεταξύ των σημείων Α και Β:

$$V\_{BΑ(2)}=V\_{B(2)}-V\_{Α\left(2\right)}=$$ |

## Ενισχυτής διαφορών

Καθώς η θερμοκρασία μεταβάλλεται, η τιμή της αντίστασης του thermistor μεταβάλλεται αντίστοιχα, προκαλώντας την απομάκρυνση της γέφυρας Wheatstone από την κατάσταση ισορροπίας. Δηλαδή η διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων B και Α δεν είναι πλέον μηδενική. Αυτή η διαφορά δυναμικού είναι σχετικά μικρή, και μπορεί να ενισχυθεί με τη χρήση ενός ενισχυτή διαφορών.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Π | Για έναν ενισχυτή διαφορών με διαφορικό κέρδος 5, ποια είναι η ελάχιστη τιμή του CMRR σε dB, εάν χρησιμοποιηθούν αντιστάσεις με ανοχή 5%, 1% και 0,1%;

|  |  |
| --- | --- |
| **Ανοχή (%)** | $CMRR\_{min}$**(dB)** |
| **5** |  |
| **1** |  |
| **0,1** |  |

 |
| Ε | Συνδέστε τον ενισχυτή διαφορών, όπως δείχνει το Σχήμα 4(α). **Να χρησιμοποιηθούν πυκνωτές παράκαμψης 100nF στους ακροδέκτες τροφοδοσίας του ολοκληρωμένου.****Ενδεικτική** υλοποίηση σε breadboard φαίνεται στο Σχήμα 4(β).(α)(β)Σχήμα 4. (α) Πλήρες Κυκλωματικό διάγραμμα. (β) Ενδεικτική υλοποίηση σε breadboard.Ρυθμίστε τη μεταβλητή αντίσταση ώστε η τάση εξόδου του ενισχυτή διαφορών να είναι όσο πιο κοντά γίνεται στο μηδέν.$$V\_{out\left(1\right)}=$$Κρατώντας σταθερά με δύο δάκτυλα την κεφαλή του thermistor, μετρήστε πάλι την τάση εξόδου:$$V\_{out\left(2\right)}=$$Ποια είναι η αναμενόμενη τιμή του διαφορικού κέρδους; Επιβεβαιώνεται πειραματικά; |

# Ερωτήσεις κατανόησης

Έστω ότι το κύκλωμα που δείχνει το Σχήμα 4 παράγει μία τάση εξόδου 4V για θερμοκρασία 30$℃$. Εάν οι αντιστάσεις του ενισχυτή διαφορών αντικατασταθούν με αντιστάσεις με άλλες που είναι 100 φορές πιο μικρές θα υπάρξει διαφοροποίηση της τάσης εξόδου για θερμοκρασία 30$℃$; Να δικαιολογηθεί πλήρως η απάντηση.

|  |
| --- |
| **Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα****Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας** |
| **Τέλος Ενότητας** |
| **Χρηματοδότηση*** Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
* Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Αθήνας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
* Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

 |

**Σημειώματα**

**Σημείωμα Αναφοράς**

Copyright ΤΕΙ Αθήνας, Παντελής Ασβεστάς, 2014.Παντελής Ασβεστάς. «Ιατρικά Ηλεκτρονικά. Ενότητα 3: Άσκηση 3 – Ενισχυτής διαφορών». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: [ocp.teiath.gr](https://ocp.teiath.gr/).

**Σημείωμα Αδειοδότησης**

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης CreativeCommons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

* που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
* που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
* που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

**Διατήρηση Σημειωμάτων**

* Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:
* Το Σημείωμα Αναφοράς
* Το Σημείωμα Αδειοδότησης
* Τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
* Το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει) μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.