Ψηφιακές Τηλεπικοινωνίες

Άσκηση 1

Κώστας Ζάκκας
ΑΜ:5292

<u>Μέρος Α</u>

Μέλετη Απόδοσης Ομόδυνου Ζωνοπερατού Συστήματος M-PAM

1. Στο πρώτο ερώτημα θα υλοποιήσουμε το σύστημα M-PAM και θα περιγράψουμε τα βασικά του σημεία.

Αρχικά με χρήση της συνάρτησης randn παράγεται μια τυχαία δυαδική ακολουθία με ισοπίθανη την εμφάνιση του 0 και του 1 που θα δωθεί ως είσοδος στο σύστημα.

Mapper: O Mapper θα μετατρέψει αυτήν την ακολουθία σε σύμβολα. Μετατρέπει την δυαδική ακολουθία σε ακολουθία ακεραίων ανάλογα για την κάθε τιμή του M και έπειτα μπορεί να πραγματοποιήσει απλή κωδικοποίηση ή κωδικοποίηση Gray, αρκεί μια αλλαγή της τιμής της μεταβλητής gray.

Modulator: O Modulator παίρνει την προηγούμενη ακολουθία και αφού αντιστοιχίσει τον κάθε ακέραιο με ένα πλάτος όπως το καθορίζουμε εμείς, το οποίο θα αποτελεί την θέση του ακεραίου στον χώρο πολλαπλασιάζει το κάθε πλάτος με τον ορθογώνιο παλμό gt και με το συνημίτονο 2πfct για τις χρονικές στιγμές που μας δίνεται ότι ο παλμός είναι μεγαλύτερος του 0.

AWGN: Στη συνέχεια στο προηγούμενο σήμα γίνεται προσθήκη θορύβου υπολογίζοντας την διασπορά θορύβου κάθε φορά για διαφορετικό SNR οι τιμές του οποίου μας έχουν δωθεί.

Demodulator: Στη συνέχεια ακολουθεί η αποδιαμόρφωση του προηγούμενου σήματος που είναι αυτό που δέχεται ο δέκτης. Αυτή θα πραγματοποιηθεί πολλαπλασιάζοντας το σήμα με το γινόμενο του παλμού με την φέρουσα.

Φωρατής: Ο φωρατής δέχεται το αποδιαμορφωμένο σήμα και προσπαθεί να εντοπίσει σε ποια δυαδική ακολουθία αντιστοιχούν τα σύμβολά του, βρίσκοντας οι τιμές της ακολουθίας σε ποιο σύμβολο Am αντιστοιχεί με βάση ποια είναι η μικρότερη απόσταση της τιμής από τις ευκλείδιες αποστάσεις από τα σύμβολα Am. Έπειτα ανάλογα με το M και την ύπαρξη ή όχι κωδικοποίησης gray υπολογίζεται η δυαδική ακολουθία εξόδου, τα λάθη σε σχέση με την αρχική, το BER και το SER.

2. Παρακάτω παραθέτουμε τους πίνακες με τις τιμές του BER για τις διάφορες τιμές του πλήθους των συμβόλων M και του SNR. Για πραγματοποίηση πιο αξιόπιστων μετρήσεων του BER χρησιμοποιείται ως είσοδος ένας αρκετά μεγάλος αριθμός δεδομένων και συγκεκριμένα η είσοδος έχει μέγεθος 10^5.

M=2

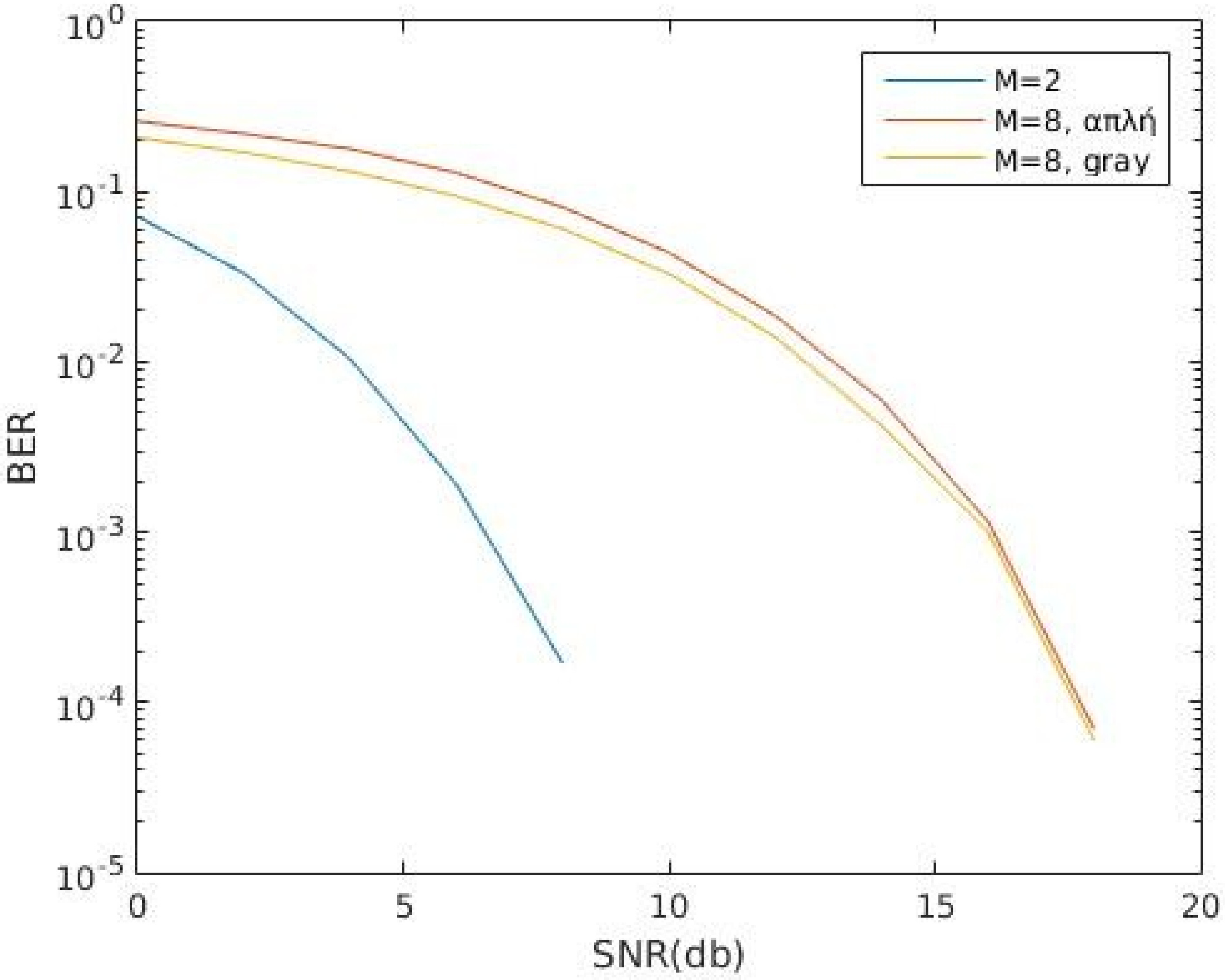
SNR	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
M	2										
Gray κωδικοποίηση	X										
BER	0.07153	0.03328	0.01044	0.00191	1.7*10^-4	0	0	0	0	0	0

M=8 χωρίς Gray

SNR	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
M	8										
Gray κωδικοποίηση	X										
BER	0.25982	0.21892	0.17856	0.12955	0.08124	0.04391	0.01871	0.00597	0.00116	7*10^-5	0

M=8 με Gray

SNR	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
M	8										
Gray κωδικοποίηση	√										
BER	0.20761	0.1701	0.13196	0.09431	0.06062	0.03302	0.01403	0.00422	0.00101	8*10^-5	0



Από τους παραπάνω πίνακες και την γραφική παράσταση που προέκυψε είναι φανερό με την αύξηση του SNR μειώνεται το BER οπότε το σύστημα μας αποδίδει καλύτερα το οποίο ήταν αναμενόμενο καθώς όταν αυξάνεται το SNR μειώνεται η διασπορά του θορύβου, οπότε και ο θόρυβος. Επίσης προκύπτει ότι η κωδικοποίηση gray προσφέρει ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα. Στην κωδικοποίηση gray ένα σύμβολο διαφέρει από το προηγούμενο και από το επόμενο του κατά ένα bit και ο φωρατής στις περισσότερες περιπτώσεις όταν κάνει λάθος, το λανθασμένο σύμβολο είναι κάποιο γειτονικό του σωστού οπότε συνήθως το λανθασμένο bit είναι το ένα από αυτά που αποτελούν το σύμβολο. Οπότε η κωδικοποίηση gray φέρνει μια βελτίωση στο αποτέλεσμα.

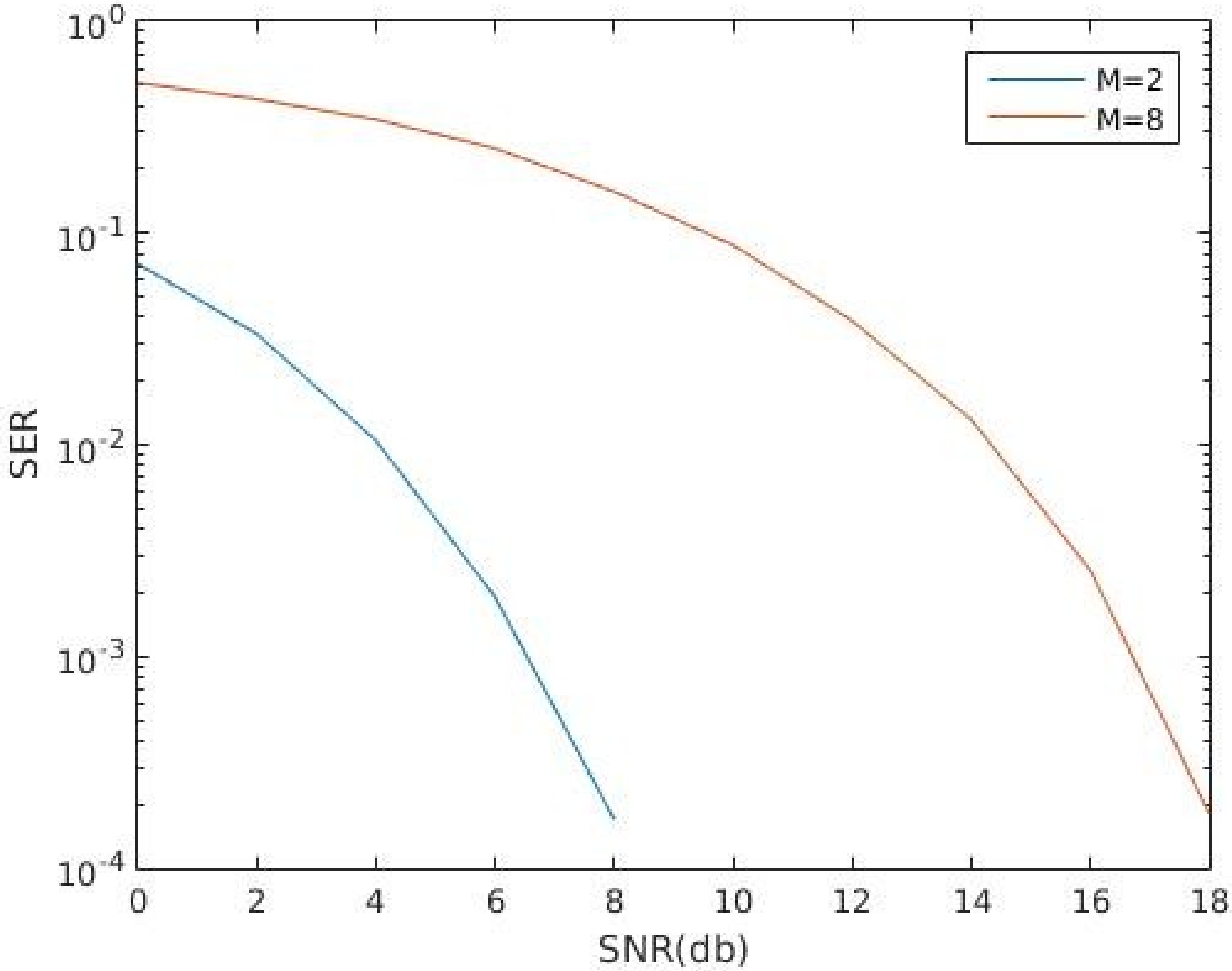
3.

M=2

SNR	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
M	2										
Gray κωδικοποίηση	X										
BER	0.07153	0.03328	0.01044	0.00191	1.7*10^-4	0	0	0	0	0	0

M=8 χωρίς Gray

SNR	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
M	8										
Gray κωδικοποίηση	X										
SER	0.5122397	0.4288414	0.3436431	0.251125	0.1570469	0.08759825	0.03839923	0.01310974	0.002549949	0.0001799964	0



Στην γραφική του SER όπως και πριν στην γραφική του BER παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το SNR μειώνεται το SER γιατί όπως και πριν μειώνεται η διασπορά θορύβου άρα και ο θόρυβος. Επίσης σύμφωνα με την θεωρία στην ενότητα 7.6 του βιβλίου σε ένα PAM σύστημα κάθε διπλασιασμός του M σημαίνει αύξηση του SNR μεγαλύτερη από 4 db. Στο παραπάνω γράφημα όπου αντίστοιχα έχουμε M=2 και το τετραπλάσιο του δηλαδή M=8 περιμένουμε για ίδιες τιμές SER διαφορά μεγαλύτερη των 8 db πράγμα που ισχύει(πχ για SER=-8 το SNR για M=2 είναι λίγο μεγαλύτερο του 5 ενώ για M=8 είναι μεγαλύτερο του 15).

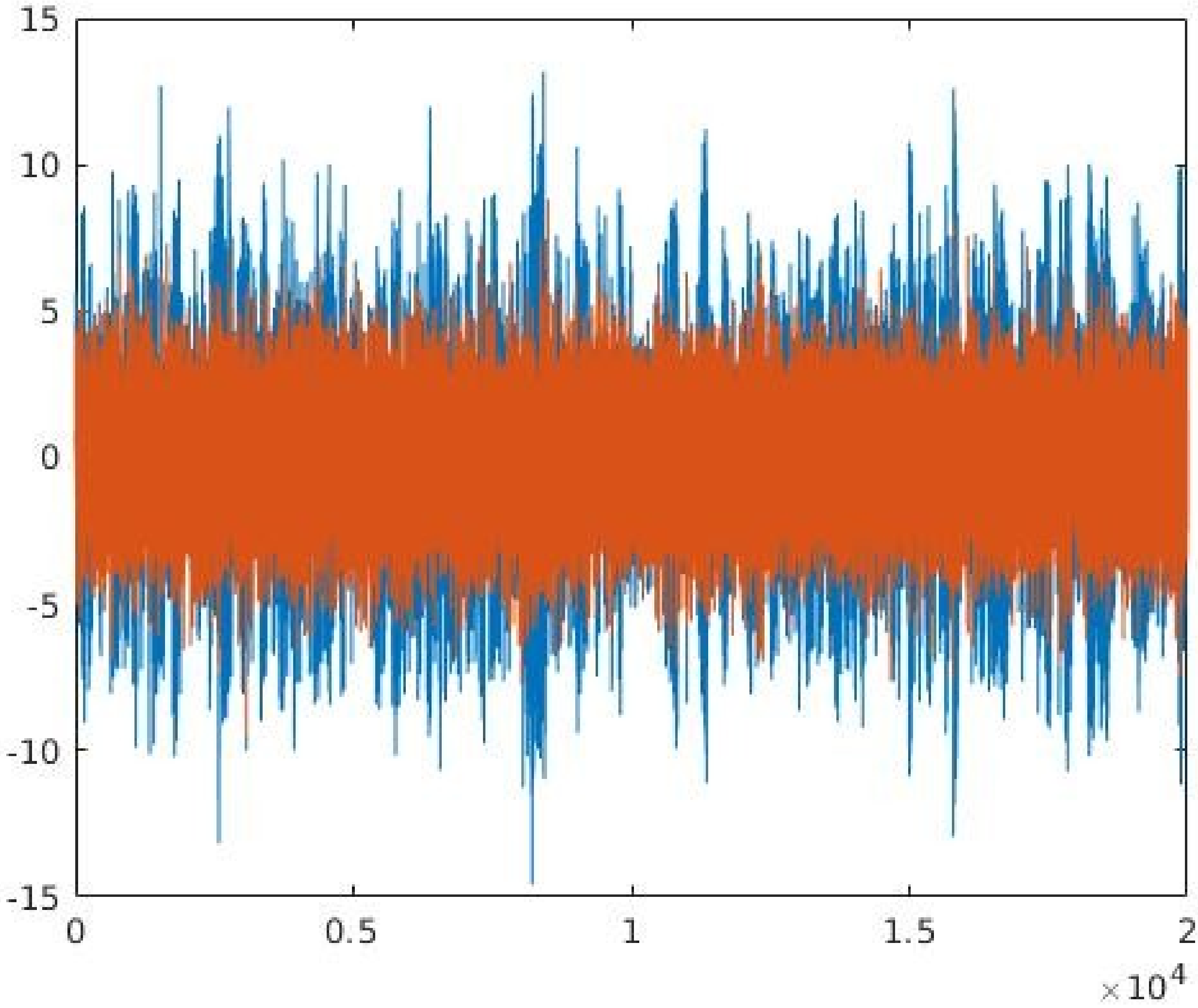
<u>Μέρος Β</u>

Κωδικοποίηση Διακριτής Πηγής με τη μέθοδο DPCM

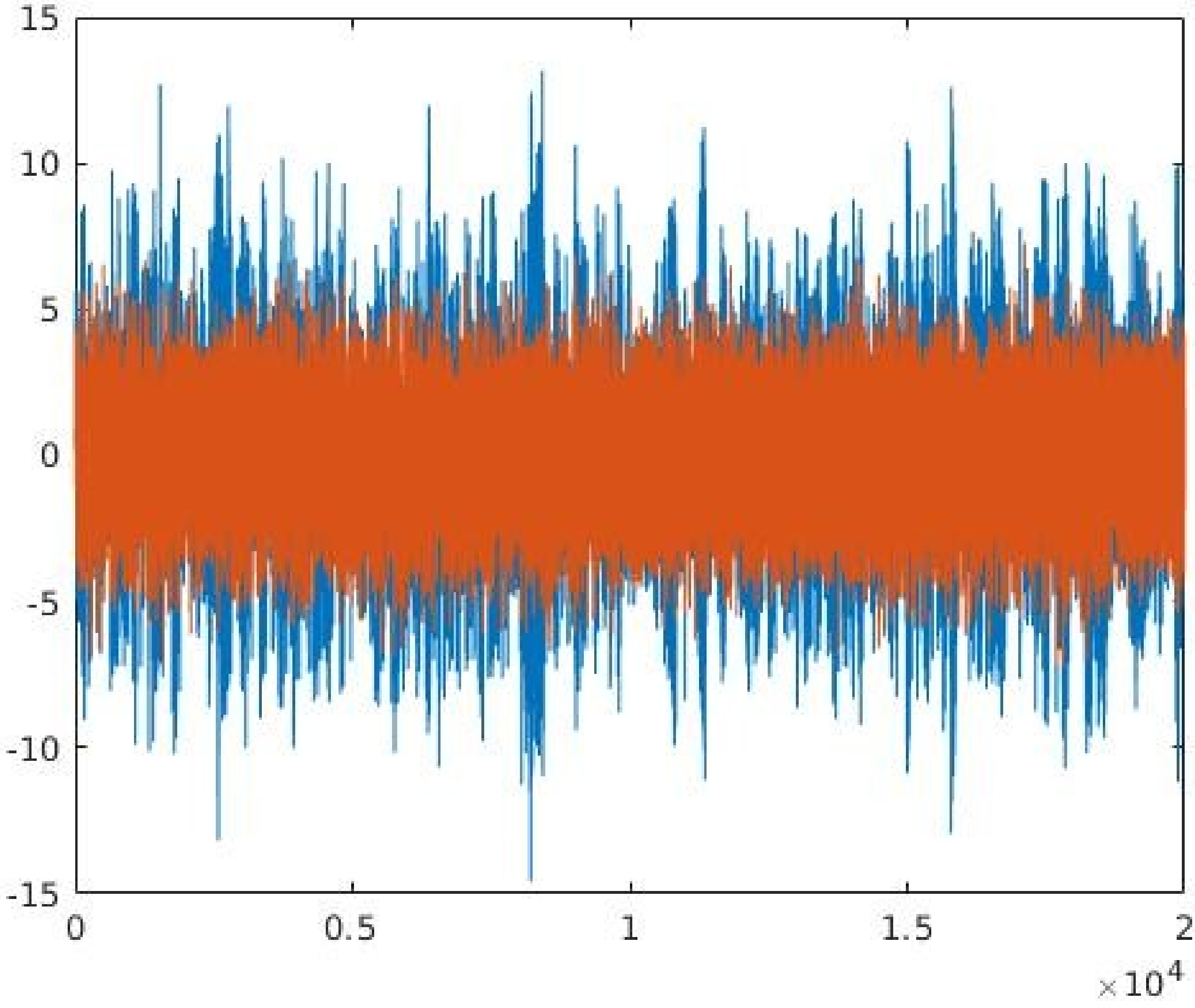
1. Αρχικά υλοποιήθηκε ένας ομοιόμορφος κβαντιστής N δυαδικών ψηφίων. Τα επίπεδα του καθορίζονται από το N και συγκεκριμένα είναι 2^N. Ο κβαντιστής βρίσκει σε ποιο επίπεδο ανήκει η τιμή που του δίνουμε και η έξοδος του έχει την τιμή του κέντρου της αντίστοιχης περιοχής θα χρησιμοποιηθεί ως δείκτης στο διάνυσμα centers για να πάρουμε το κβαντισμένο δείγμα. Στη συνέχεια για την υλοποίηση του συστήματος DPCM όπως δείχνει το σχήμα δημιουργήθηκε ένα φίλτρο πρόβλεψης το οποίο στηρίζεται στις p προηγούμενες τιμές που βρίσκονται αποθηκευμένες στη μνήμη. Εξαίρεση είναι οι p αρχικές τιμές όπου θα δωθούν οι p πρώτες τιμές της εισόδου κατευθείαν. Από τον κβαντιστή θα περάσει ο συντελεστής a και το σφάλμα πρόβλεψης το οποίο αφού κβαντιστεί θα σταλεί στον δέκτη όπου θα ανακατασκευαστεί.

2. Παρακάτω είναι τα γραφήματα για τις τιμές του p=8,10 και για τις τιμές του N=1,2,3. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το αρχικό σήμα ενώ με πορτοκαλί το σφάλμα πρόβλεψης.

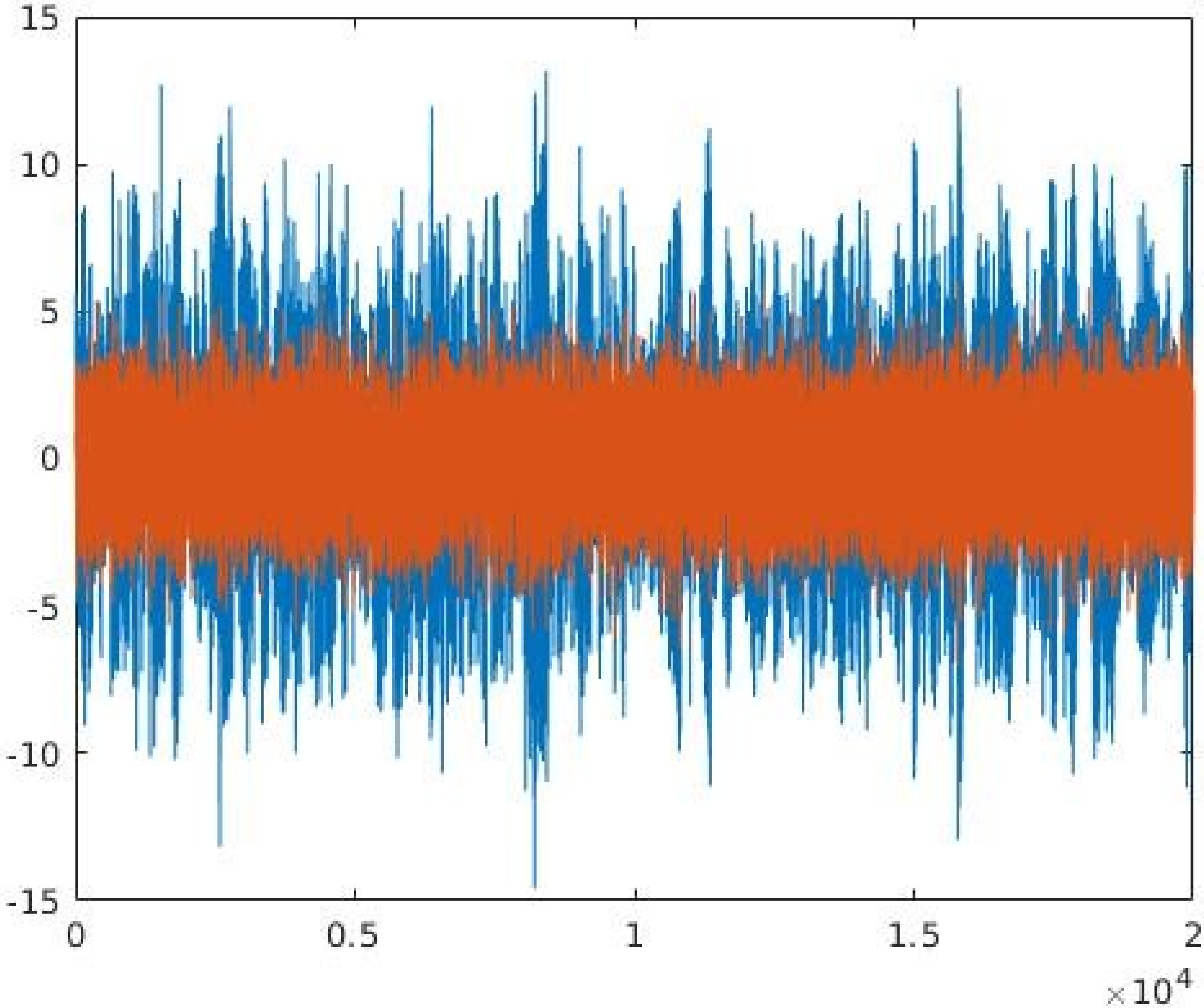
- Για p=8 και N=1



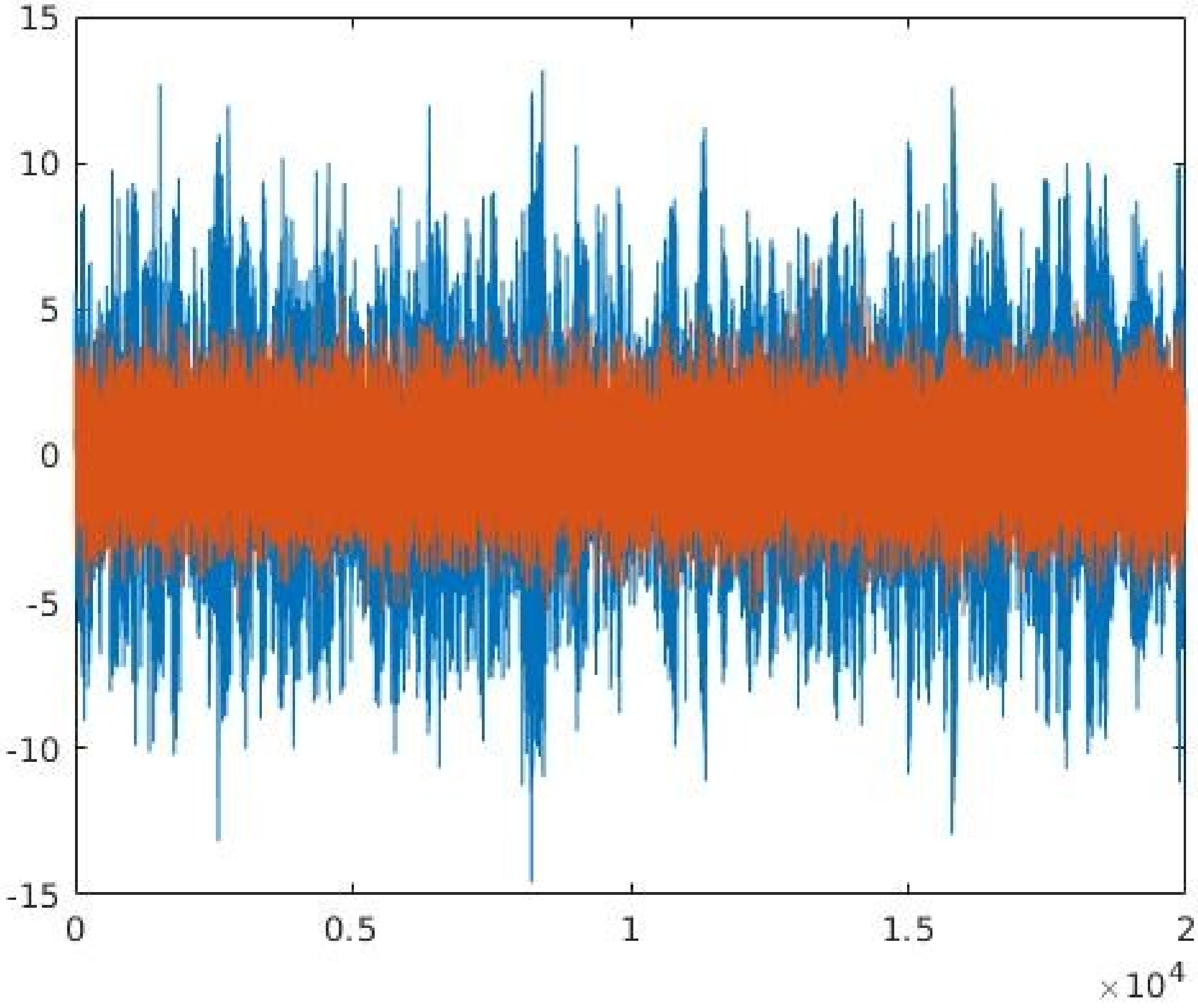
- Για p=10 και N=1



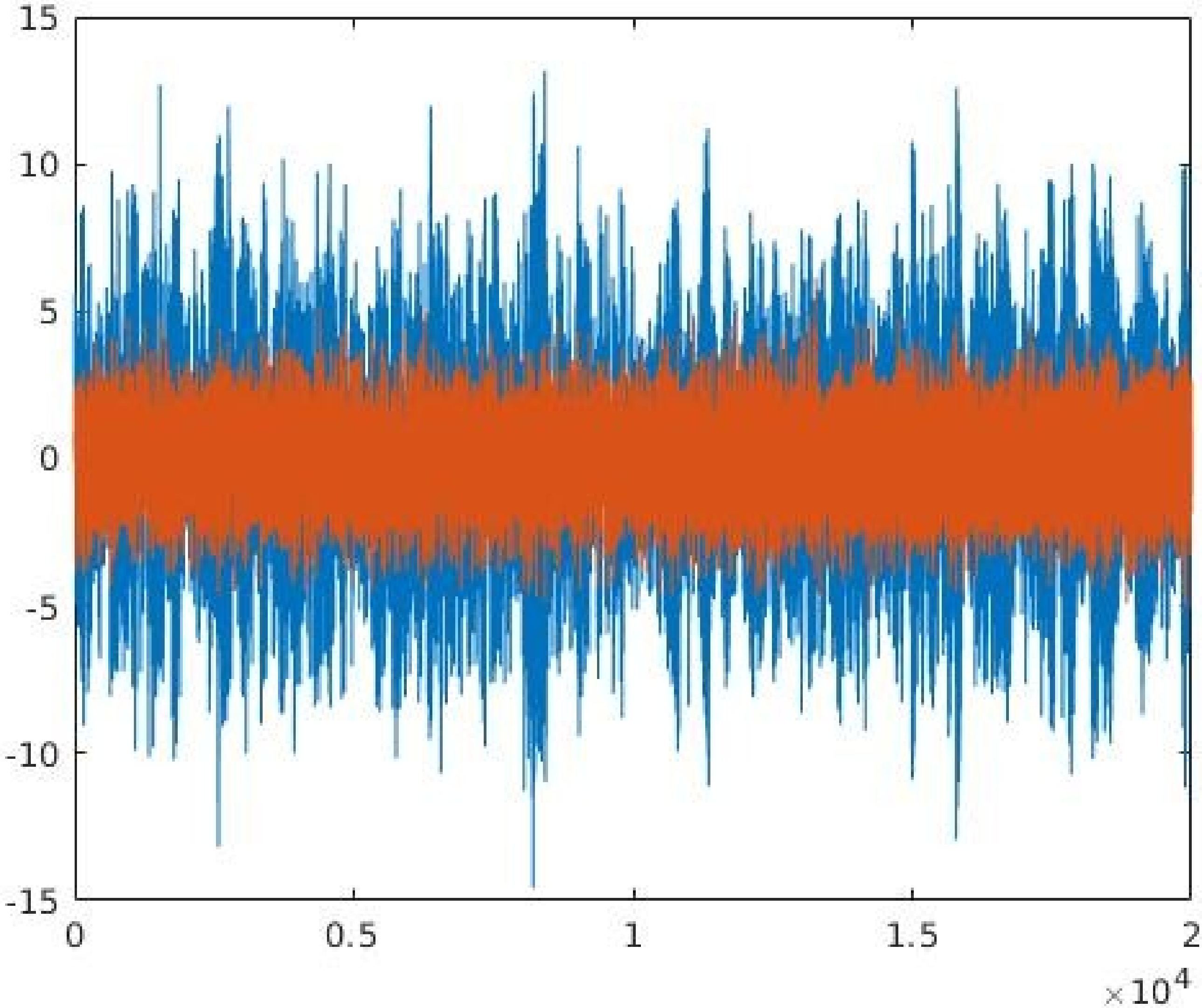
- Για p=8 και N=2



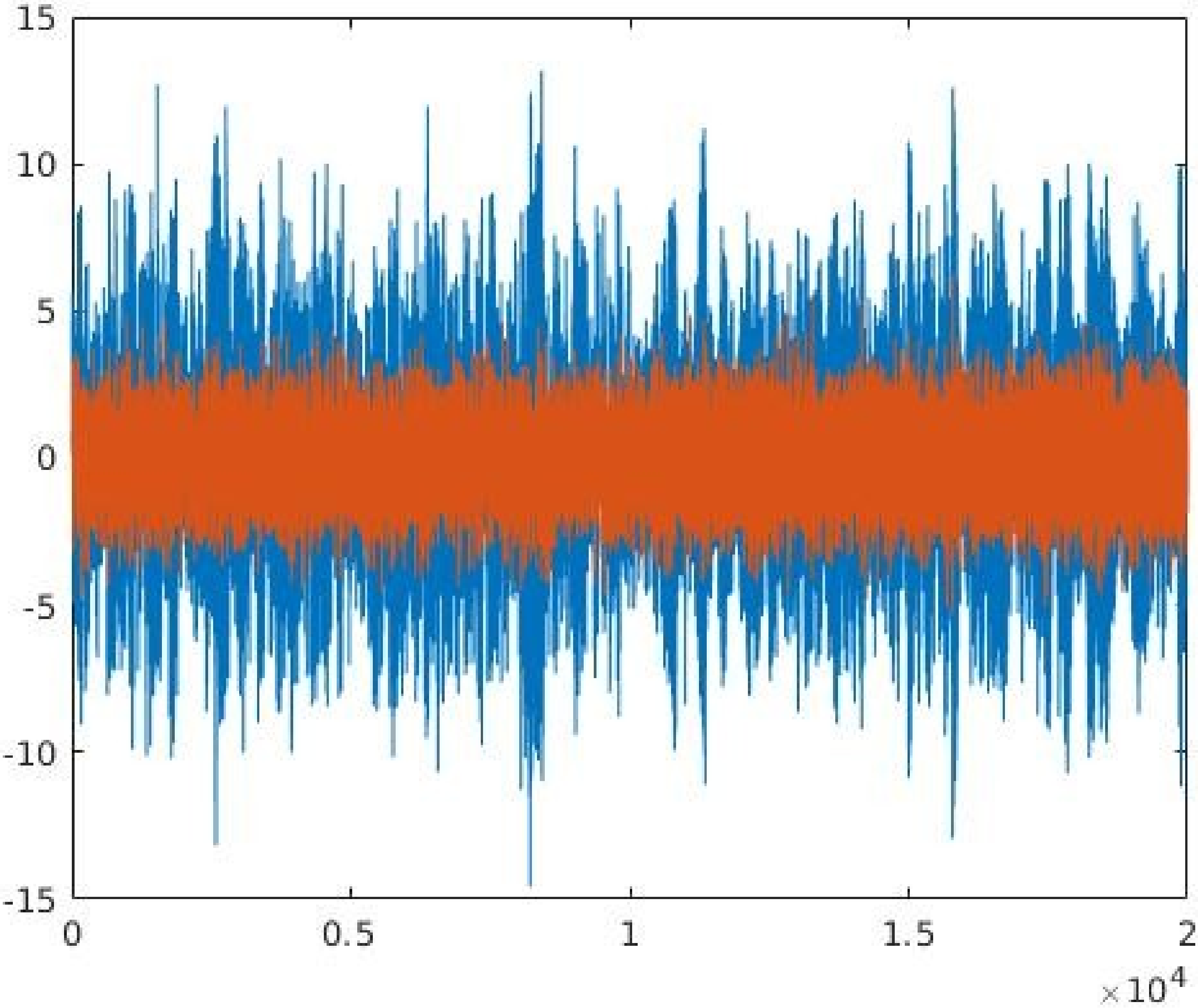
- Για p=10 και N=2



■ Για p=8 και N=3



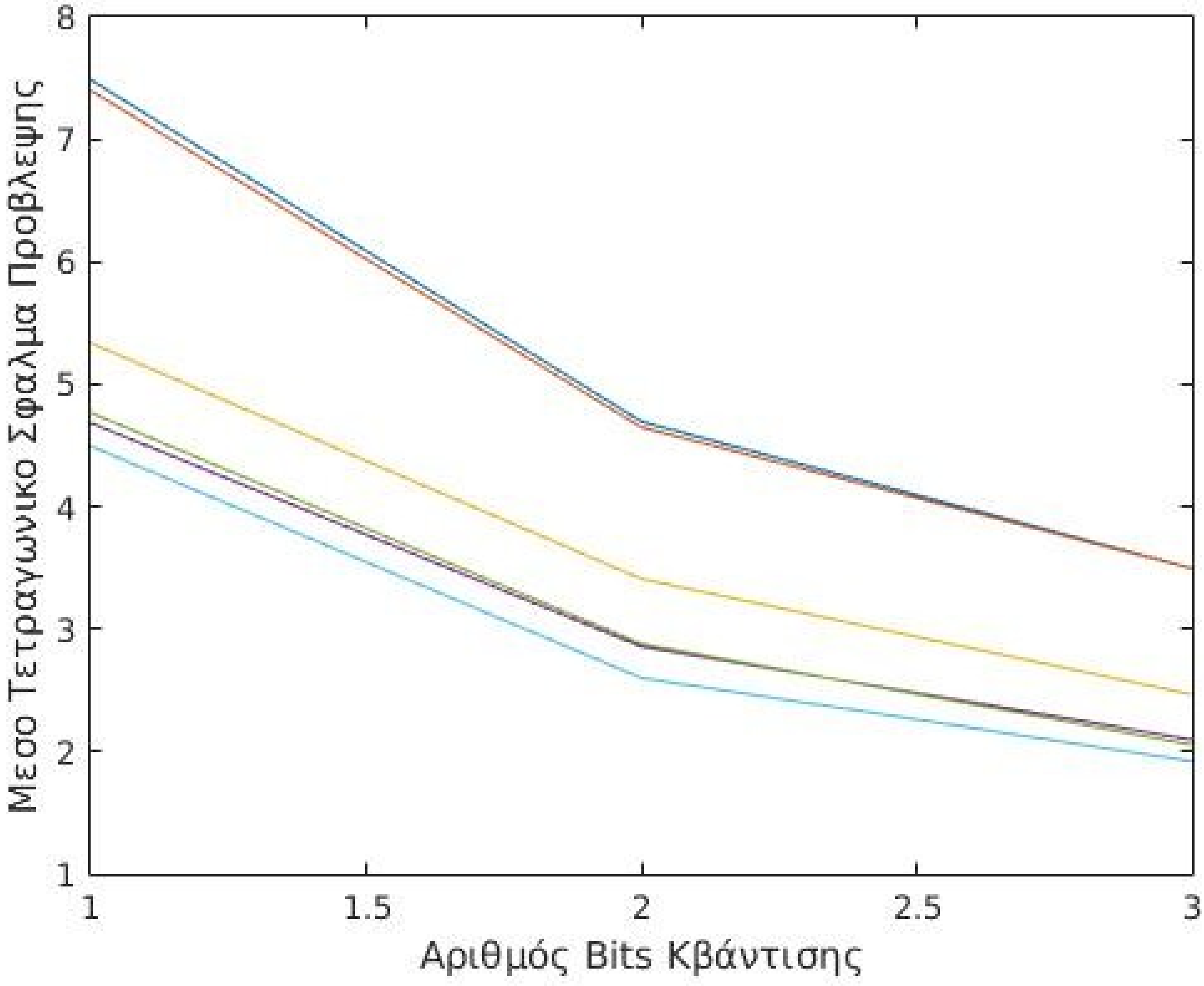
- Για p=10 και N=3



Παρατηρώντας τα γραφήματα συμπεραίνουμε ότι το σφάλμα πρόβλεψης επηρρεάζεται κυρίως από τα bits κβάντισης αλλά και από τον αριθμό των προηγούμενων τιμών δηλαδή το p. Όσο αυξάνεται ο αριθμός των bits κβάντισης τόσο βελτιώνεται και το σφάλμα πρόβλεψης καθώς τα περισσότερα bits κβάντισης δίνουν μεγαλύτερη ακρίβεια και ο προβλέπτης δίνει καλύτερες προβλέψεις του δείγματος που του δίνεται ως είσοδος. Σύμφωνα με την θεωρία η τιμή του p προκαλεί βελτίωση πράγμα που παρατηρείται ελαφρώς παραπάνω ωστόσο παρακάτω γίνονται και άλλες μετρήσεις ώστε να βγουν πιο ασφαλή συμπεράσματα.

3. Ακολουθεί το διάγραμμα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος πρόβλεψης προς τον αριθμό των bits κβάντισης Ν.

p=5 ----------- p=8 -----------
p=6 ----------- p=9 -----------
p=7 ----------- p=10 -----------



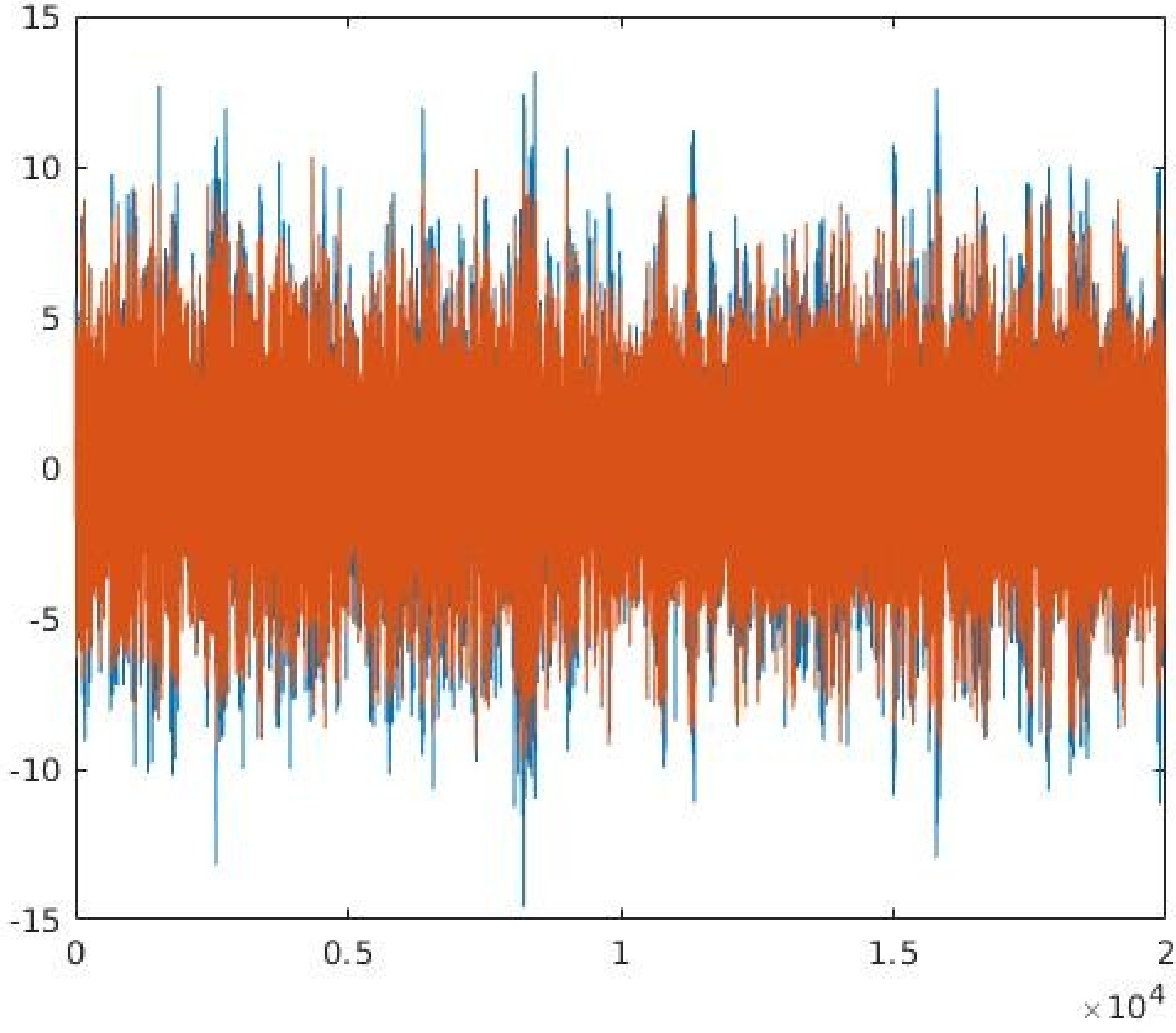
Τιμές του συντελεστή πρόβλεψης για τις τιμές του p από 5 έως 10

p	**a**									
5	1.2891	-1.5859	0.9922	-0.5391	-0.0234					
6	1.2891	-1.5703	0.9453	-0.4766	-0.0859	0.0391				
7	1.2578	-1.5234	1.1953	-0.9609	0.7109	-0.6016	0.5078			
8	1.0859	-1.3047	0.9453	-0.6172	0.2891	-0.0703	0.0547	0.3516		
9	1.1484	-1.3047	0.9297	-0.5703	0.1953	0.0703	-0.1484	0.5234	-0.1641	
10	1.1016	-1.1797	0.8984	-0.5547	0.2422	-0.0547	0.0703	0.2266	0.1016	-0.2266

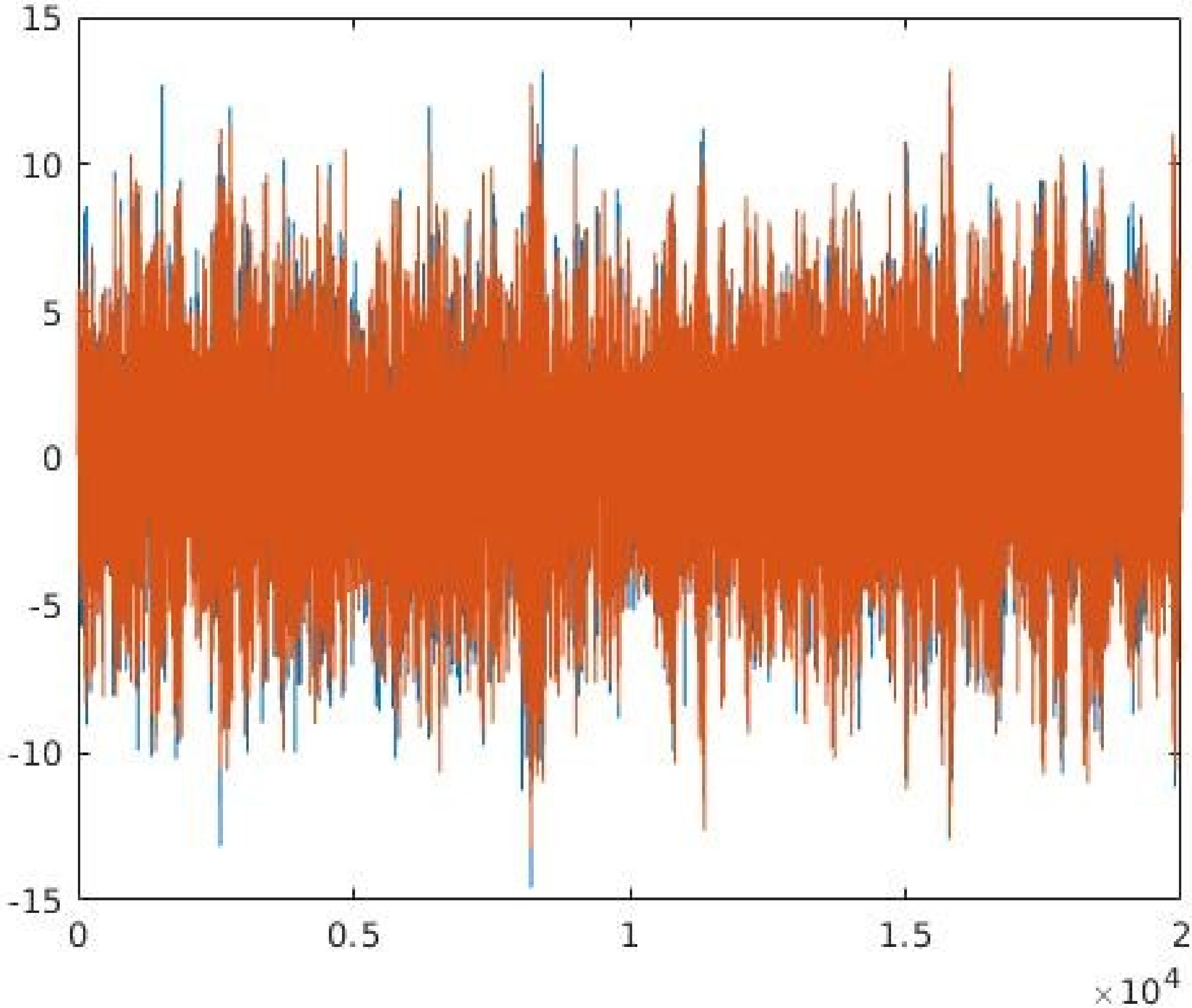
Παρατηρώντας τις τιμές του πίνακα και το διάγραμμα παρατηρείται μια βελτίωση όταν αυξάνεται το p όπως ξέρουμε και από την θεωρία, ωστόσο φαίνεται ότι κάποιες τιμές των συντελεστών ταυτίζονται για διαφορετικές τιμές του p. Αυτό εξηγεί γιατί ανάμεσα σε κοντινές τιμές του p δεν παρατηρείται τόσο μεγάλη βελτίωση με την αύξηση του όπως ήταν αναμενόμενο, αφού αύξηση του p σημαίνει ότι ο προβλέπτης χρησιμοποιεί περισσότερα δείγματα για να κάνει την πρόβλεψη. Αυτό οφείλεται στην δομή του σήματος που δώθηκε ως είσοδος και τον τρόπο που δημιουργήθηκε. Έτσι φαίνεται ότι για τις διάφορες τιμές του p οι συντελεστές που παίζουν μεγαλύτερο ρόλο είναι οι 4 πρώτοι καθώς έχουν μεγαλύτερες τιμές ενώ οι επόμενοι συντελεστές σε κάθε p είναι σαφώς πιο μικροί και επηρεάζουν σημαντικά λιγότερο την πρόβλεψη.

4. Σε αυτό το ερώτημα παρατίθενται στα ίδια διαγράμματα το αρχικό και το ανακατασκευασμένο σήμα για τις τιμές του p=5,10 και για N=1,2,3. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το αρχικό σήμα ενώ με πορτοκαλί το ανακατασκευασμένο σήμα.

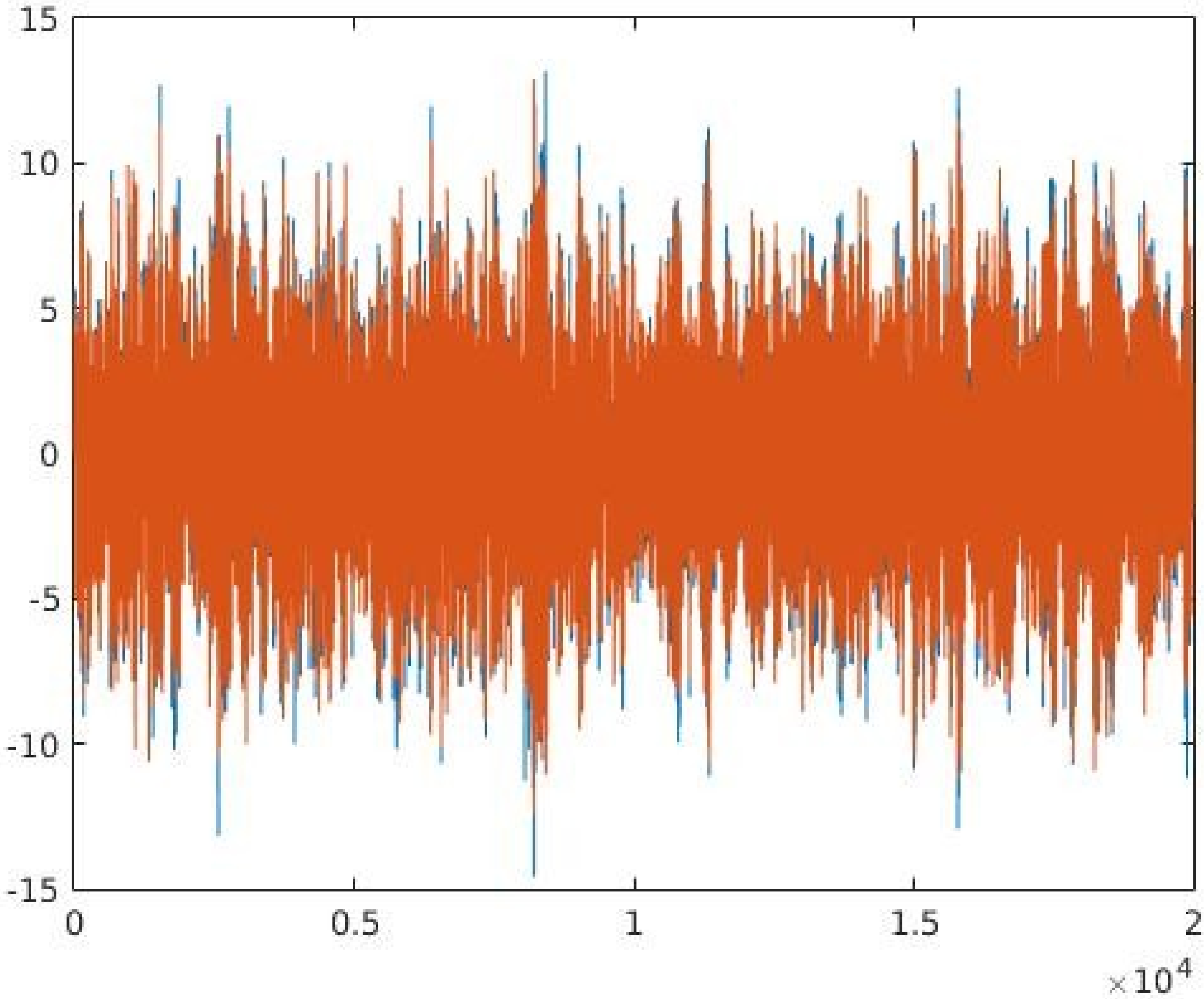
- p=5,N=1



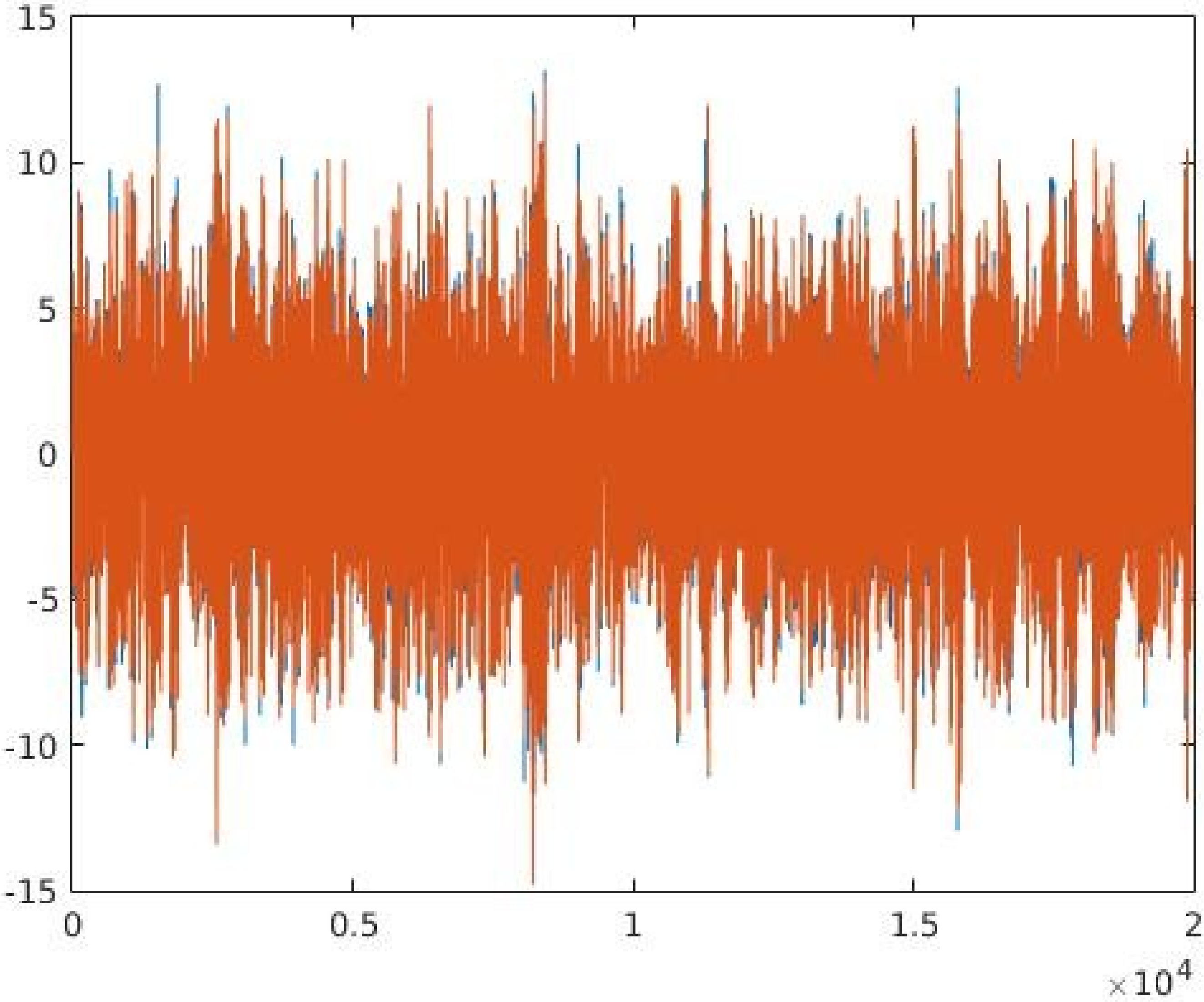
- p=10,N=1



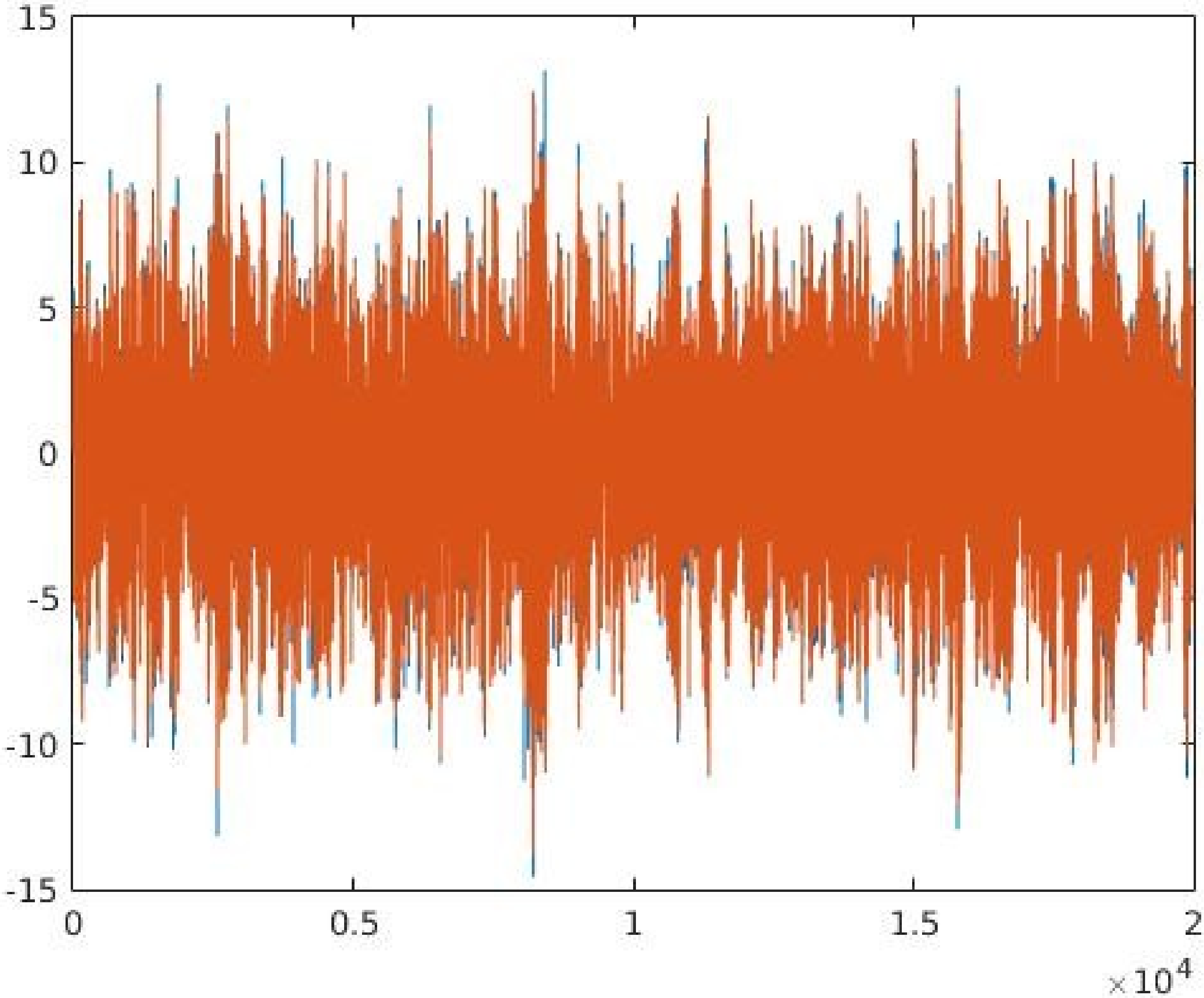
- p=5,N=2



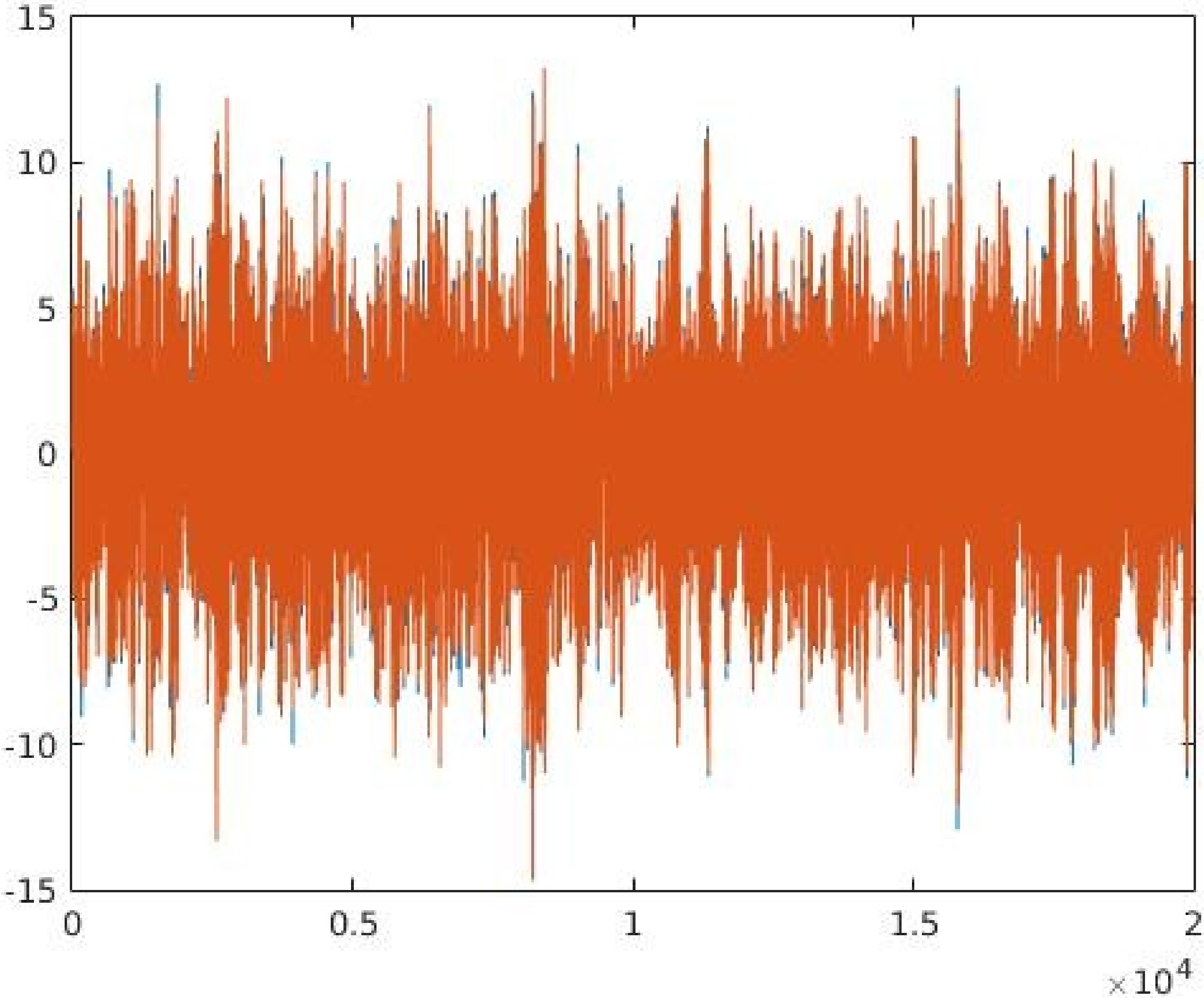
- p=10,N=2



- p=5,N=3



- p=10,N=3



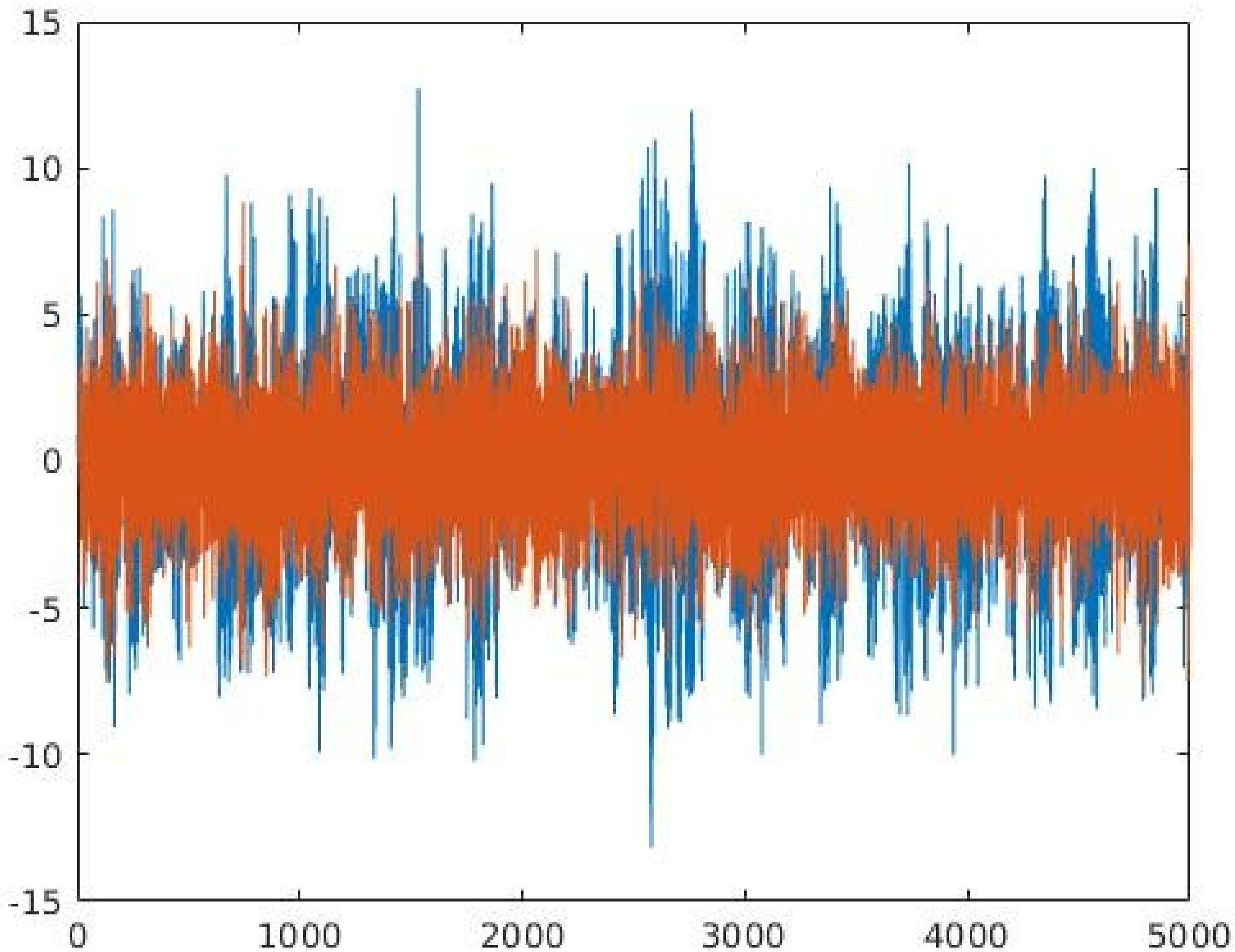
Παρατηρώντας τα γραφήματα φαίνεται ξανά ότι ο αριθμός των bits κβάντισης παίζει πιο σηματικό ρόλο στην ακρίβεια ενώ οι τιμές του p πιο μικρό ρόλο. Συγκεκριμένα αυξάνοντας τα bits κβάντισης το σύστημα που κατασκευάστηκε δημιουργεί καλύτερο ανακατασκευασμένο σήμα, πιο κοντά στο αρχικό. Για την μεγαλύτερη τιμή του N δηλαδή το 3 και για στα δύο γραφήματα για p=5 και p=10 το ανακατασκευασμένο σήμα είναι σχεδόν ίδιο με το αρχικό. Τελικά, κυρίως η αύξηση του αριθμού των bits και λιγότερο η αύξηση του p πετυχαίνει μεγαλύτερη ακρίβεια στην αποστολή του αρχικού σήματος προς τον δέκτη.

Στη συνέχεια χωρίσαμε τα δείγματα της πηγής εισόδου σε ισομεγέθη μη επικαλυπτόμενα υποσύνολα των 5000 δειγμάτων και επαναλάβαμε τα παραπάνω ερωτήματα

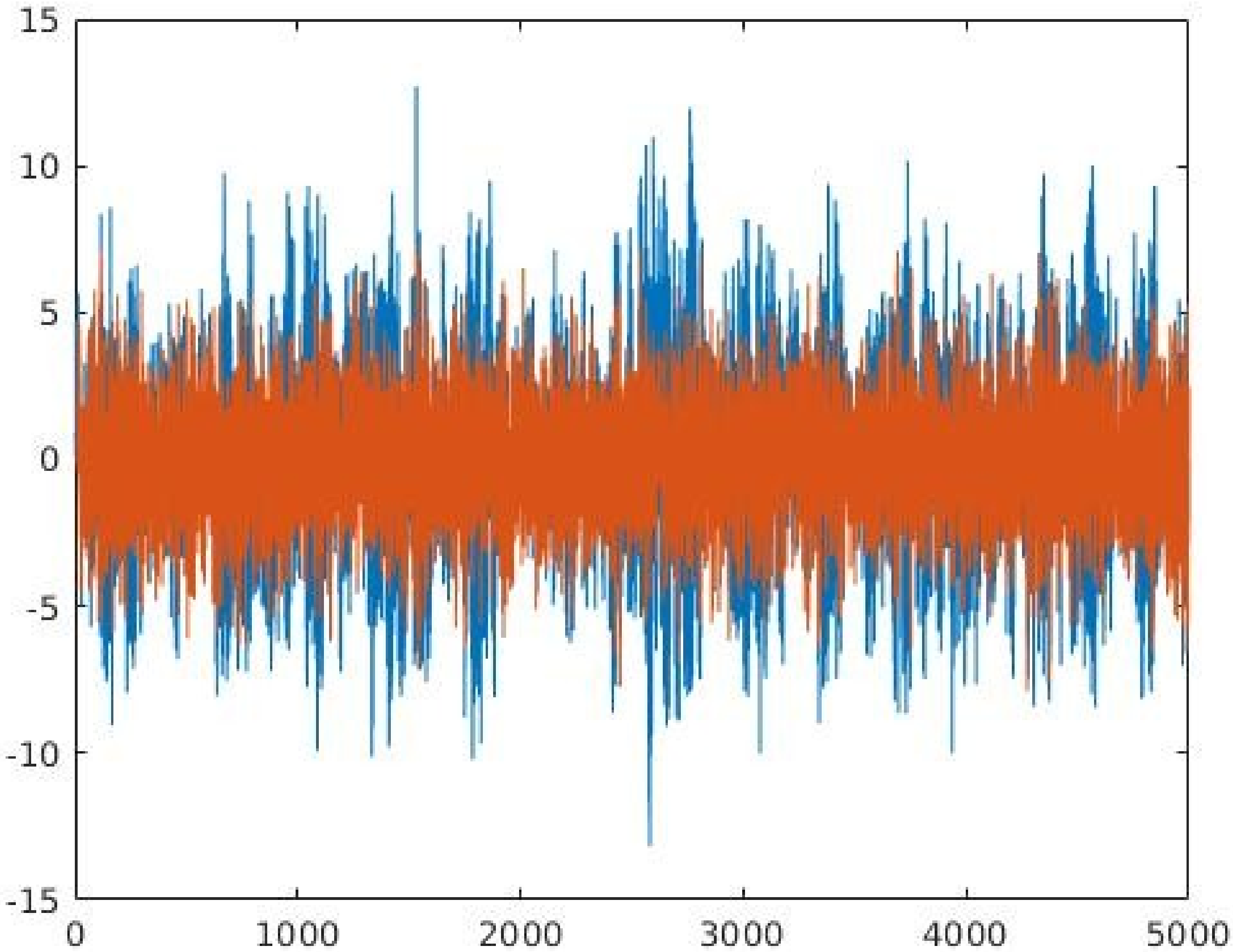
Α) Για το δείγμα 1:5000

2. Παρακάτω είναι τα γραφήματα για τις τιμές του p=8,10 και για τις τιμές του N=1,2,3. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το αρχικό σήμα ενώ με πορτοκαλί το σφάλμα πρόβλεψης

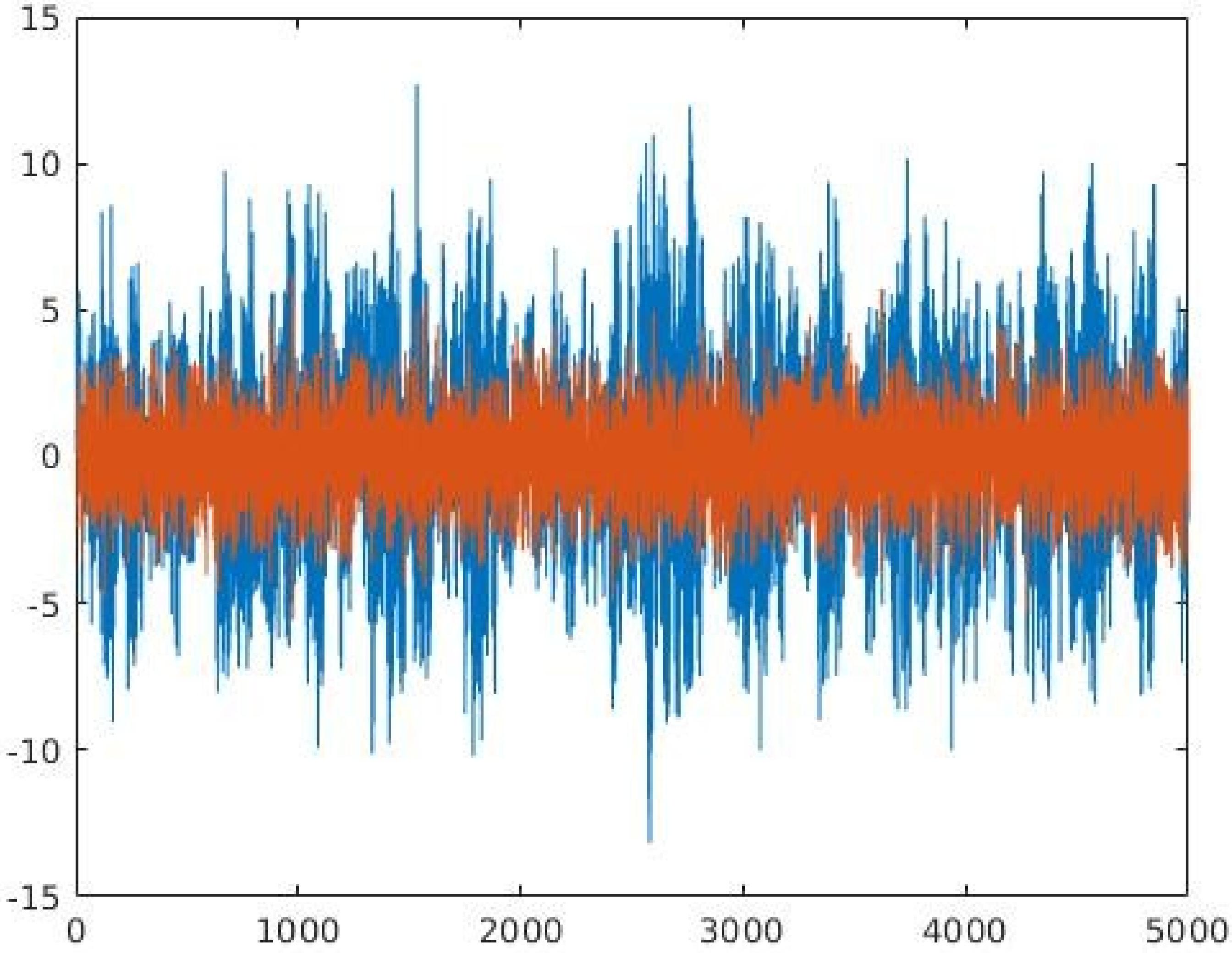
- p=8, N=1



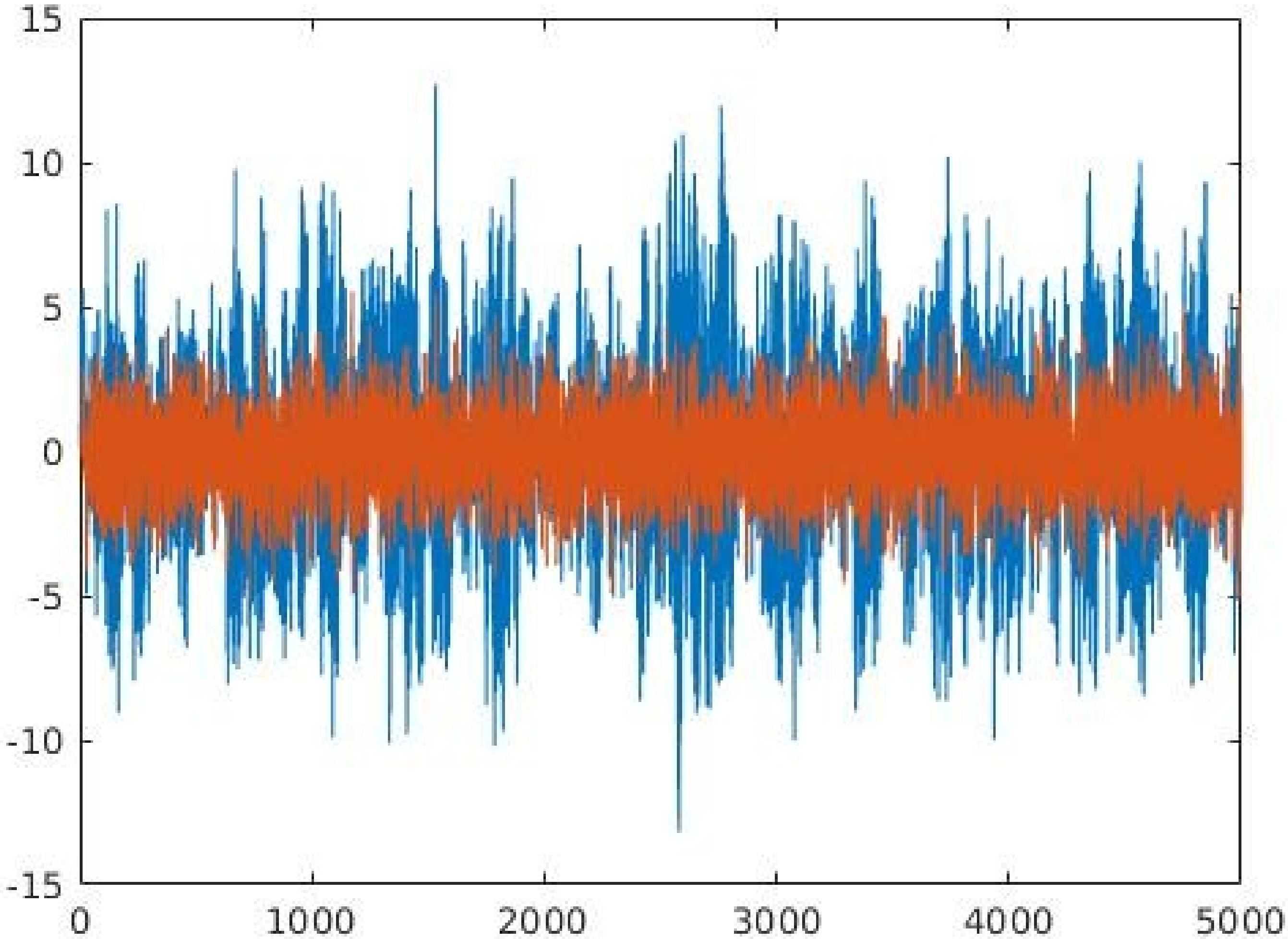
- p=10, N=1



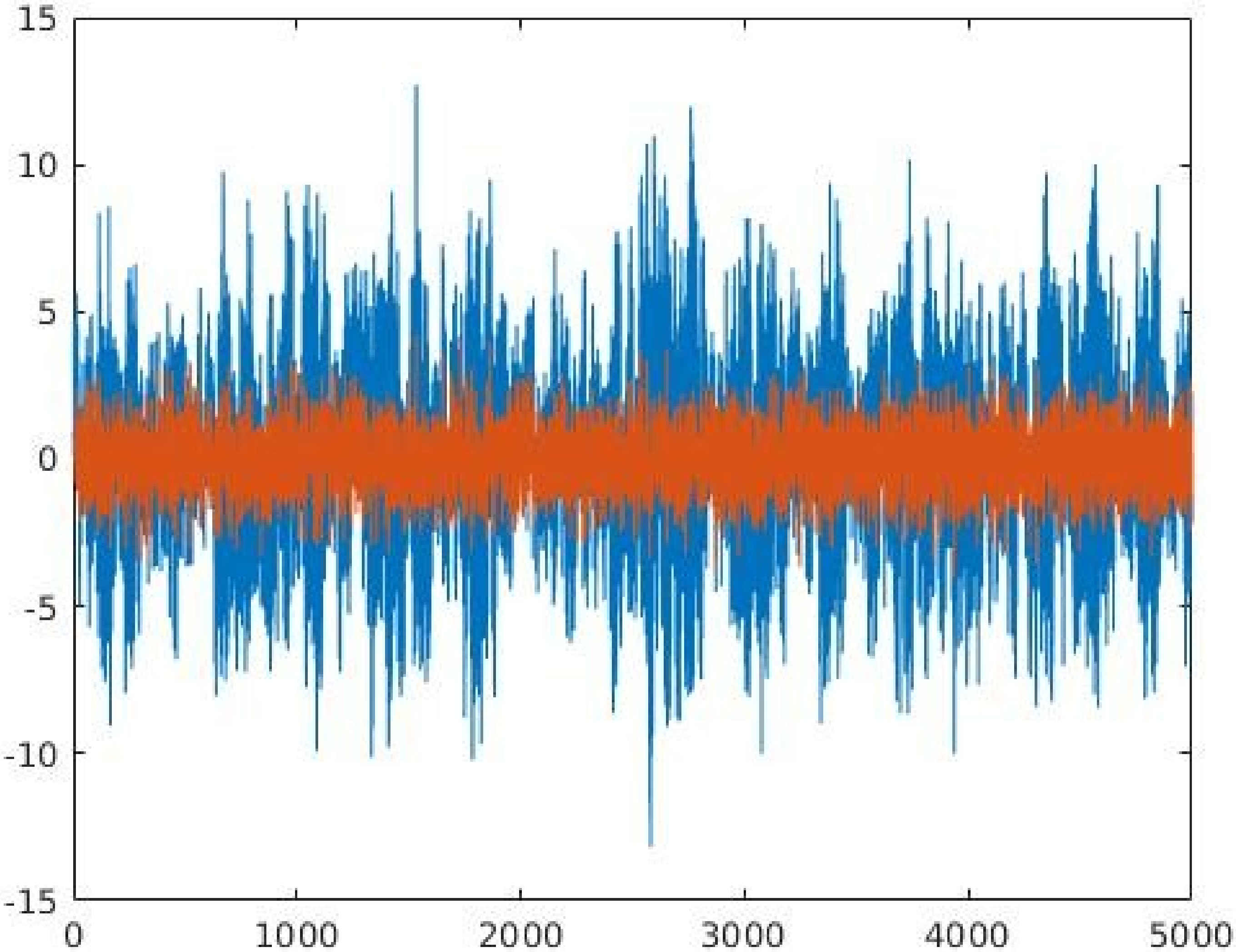
- p=8, N=2



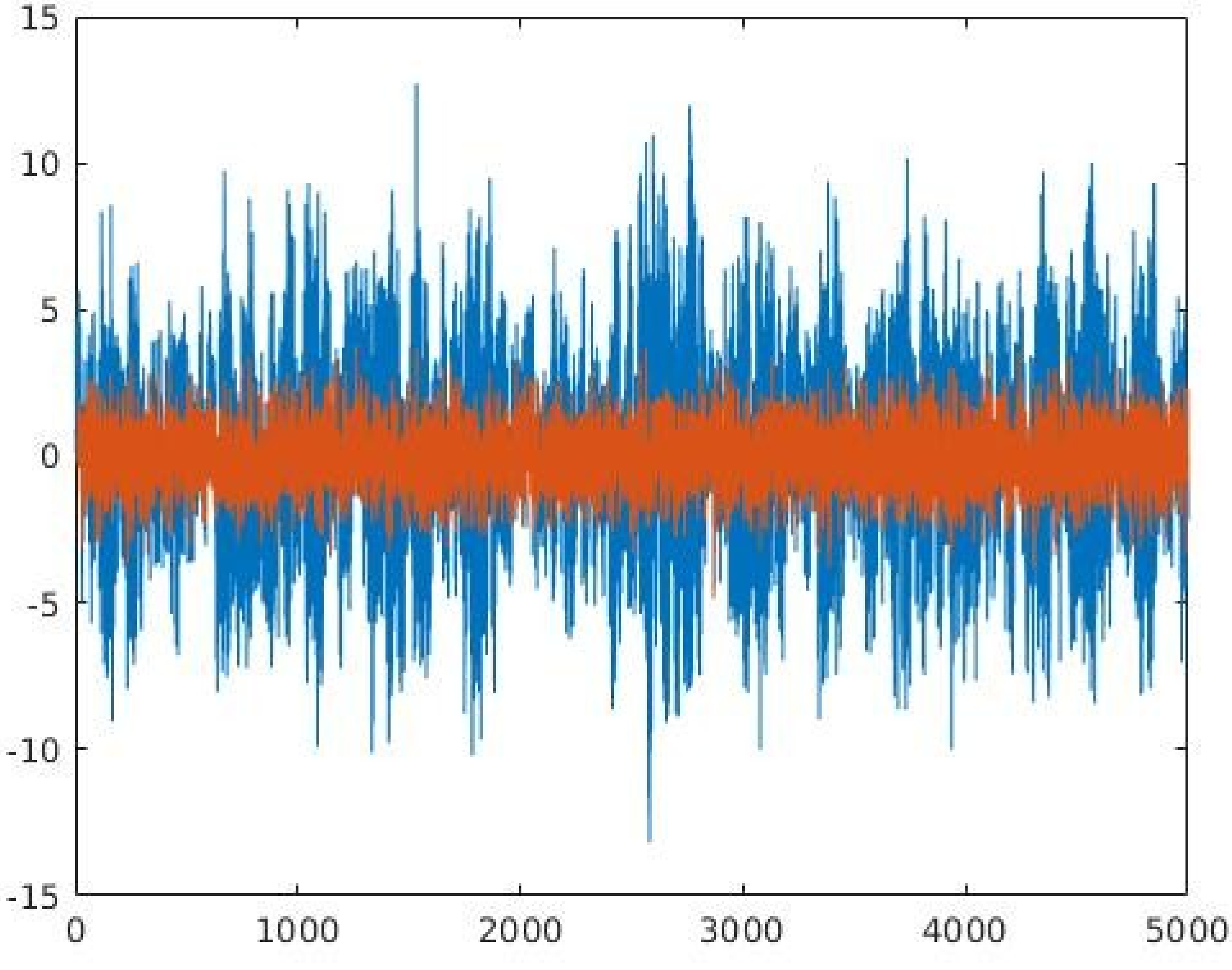
- p=10, N=2



- p=8, N=3

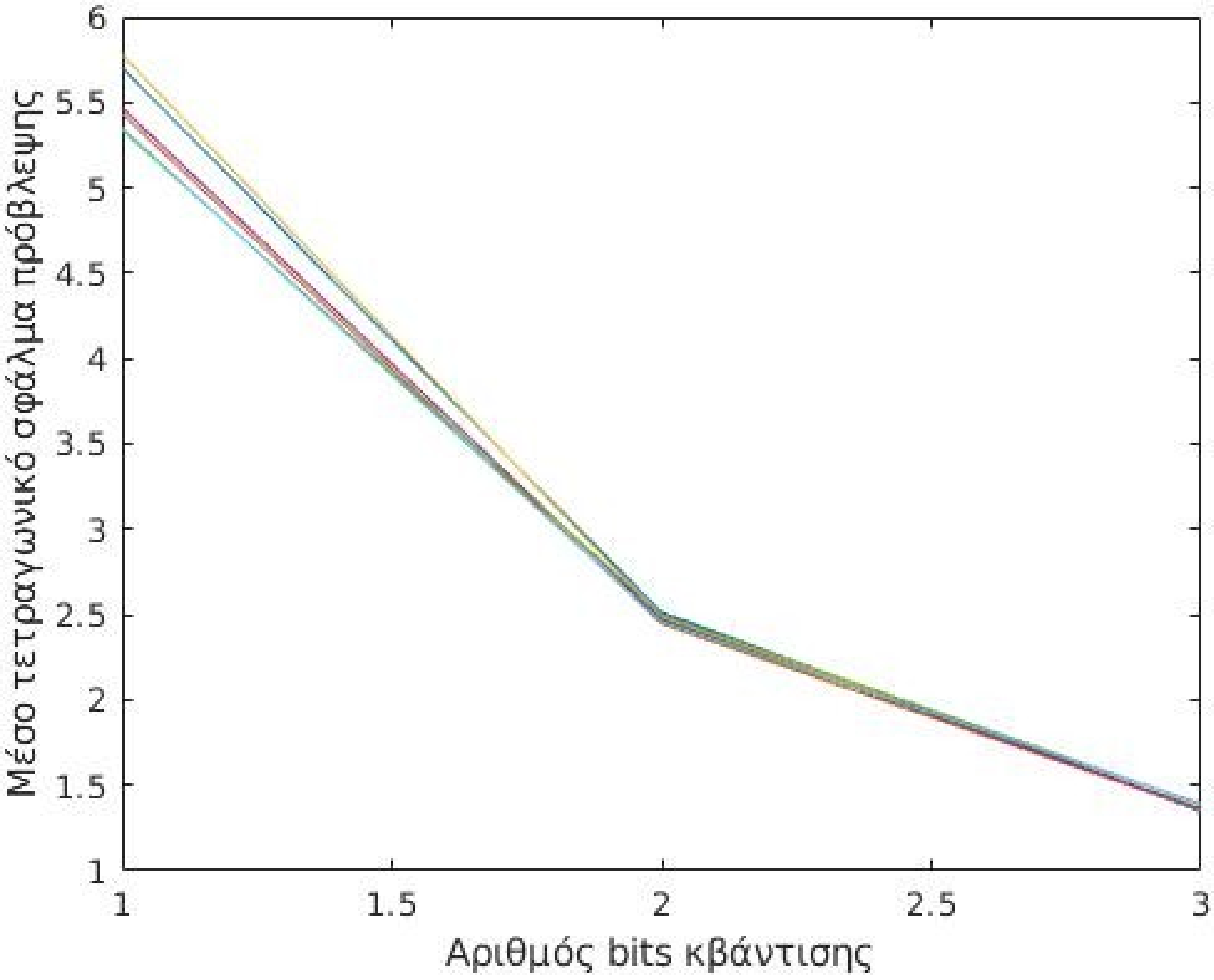


- p=10, N=3



3. Ακολουθεί το διάγραμμα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος πρόβλεψης προς τον αριθμό των bits κβάντισης N.

p=5 ----------- p=8 -----------
p=6 ----------- p=9 -----------
p=7 ----------- p=10 -----------

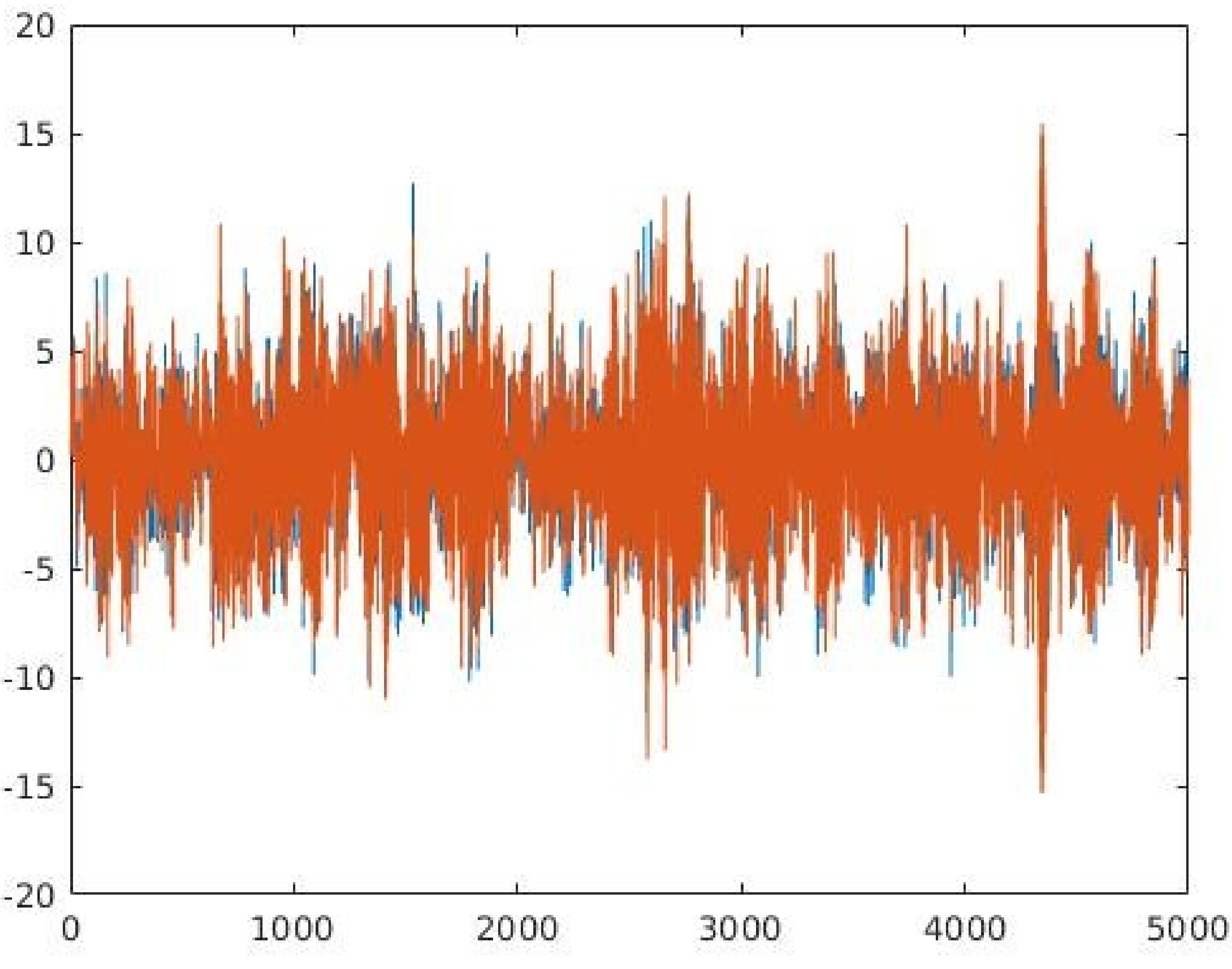


Τιμές του συντελεστή πρόβλεψης για τις τιμές του p από 5 έως 10

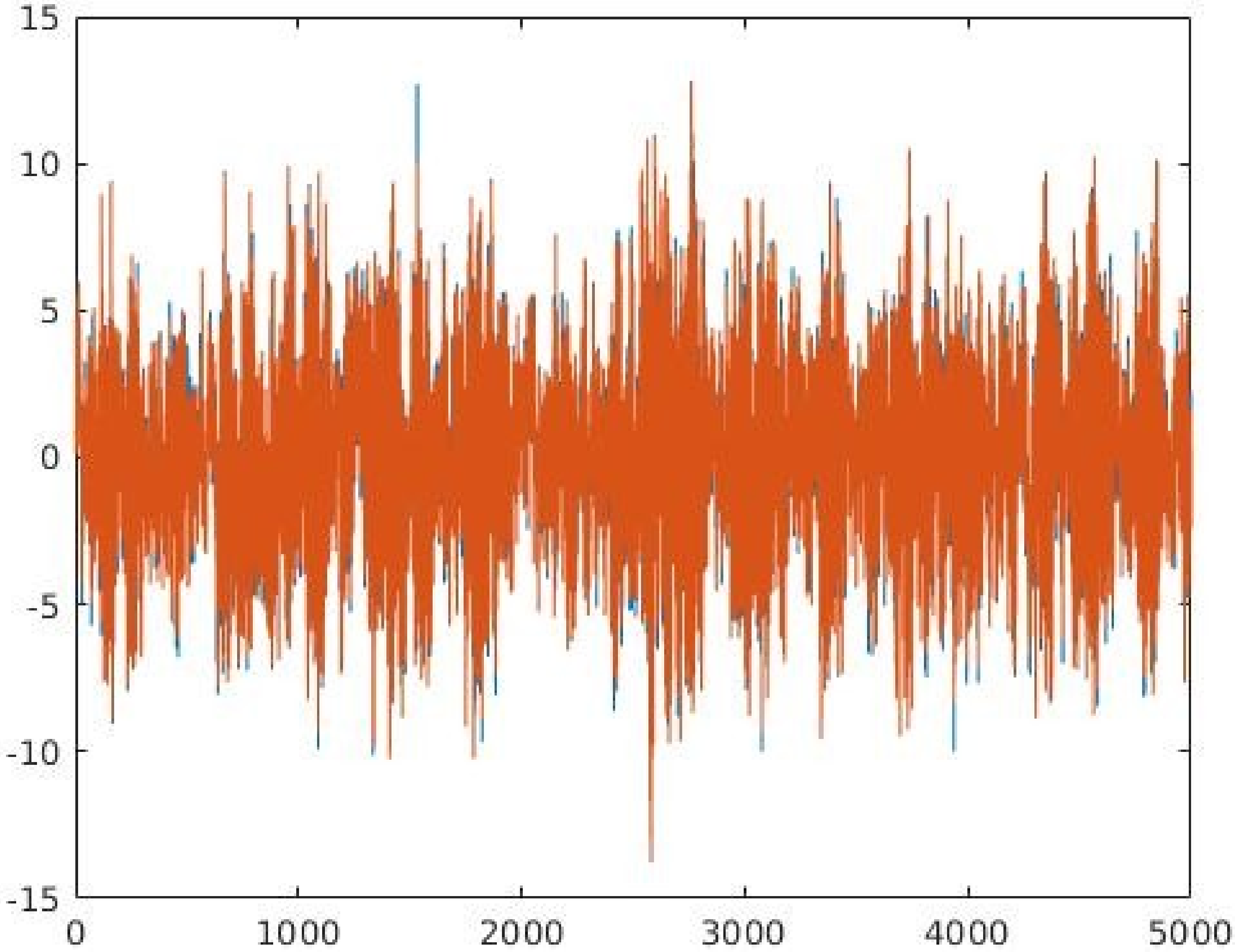
p		**a**									
5		1.4141	-1.5547	1.2578	-0.3359	0.0078					
6		1.4141	-1.5547	1.2578	-0.3359	0.0078	0.0078				
7		1.4141	-1.5547	1.2578	-0.3516	0.0234	-0.0078	0.0078			
8		1.4141	-1.5547	1.2578	-0.3516	0.0234	-0.0234	0.0234	-0.0078		
9		1.4141	-1.5547	1.2578	-0.3516	0.0234	0.0078	-0.0078	0.0234	-0.0234	
10		1.4141	-1.5547	1.2578	-0.3516	0.0234	0.0078	-0.0234	0.0234	-0.0234	0.0078

4. Σε αυτό το ερώτημα παρατίθενται στα ίδια διαγράμματα το αρχικό και το ανακατασκευασμένο σήμα για τις τιμές του p=5,10 και για N=1,2,3. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το αρχικό σήμα ενώ με πορτοκαλί το ανακατασκευασμένο σήμα.

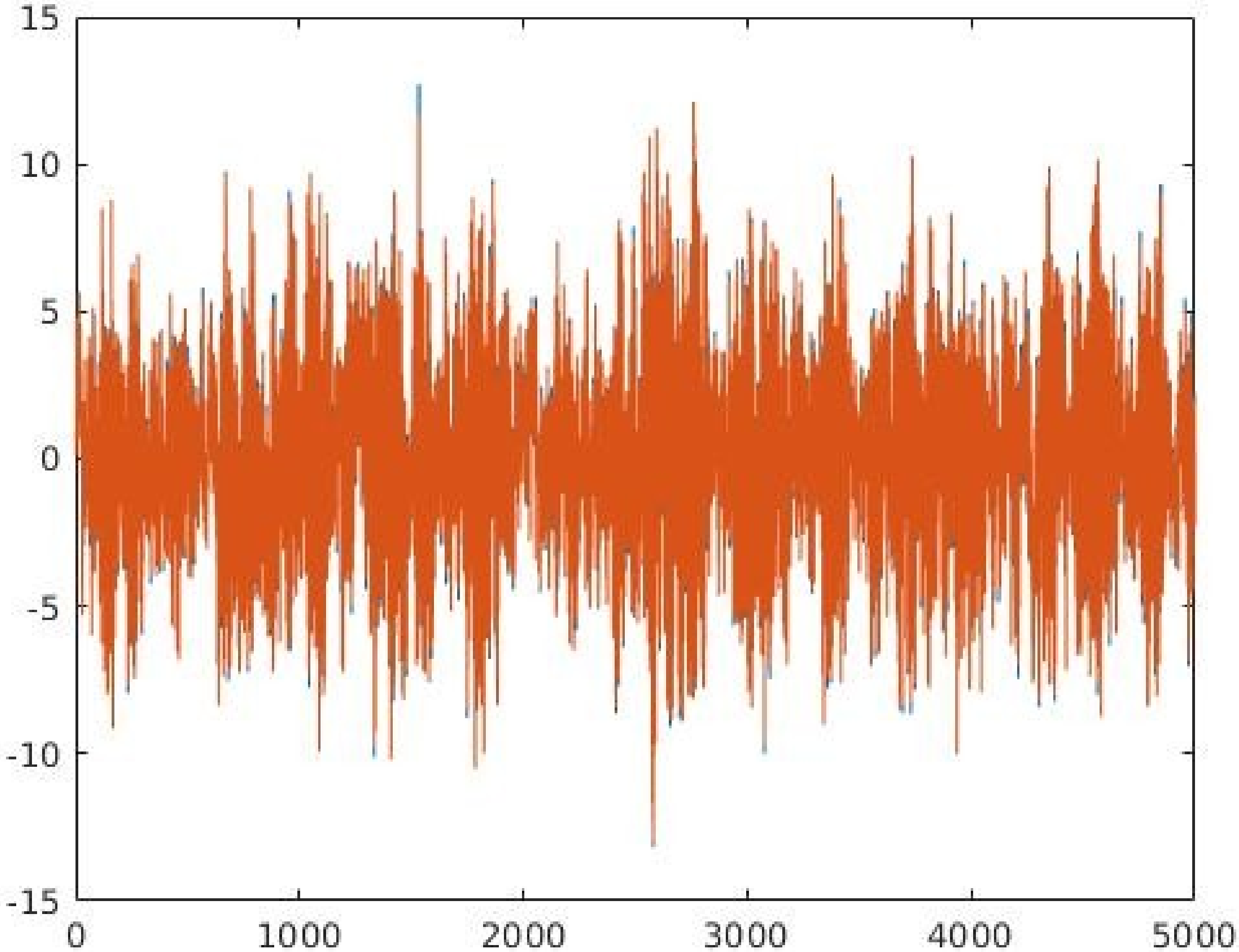
- p=5, N=1



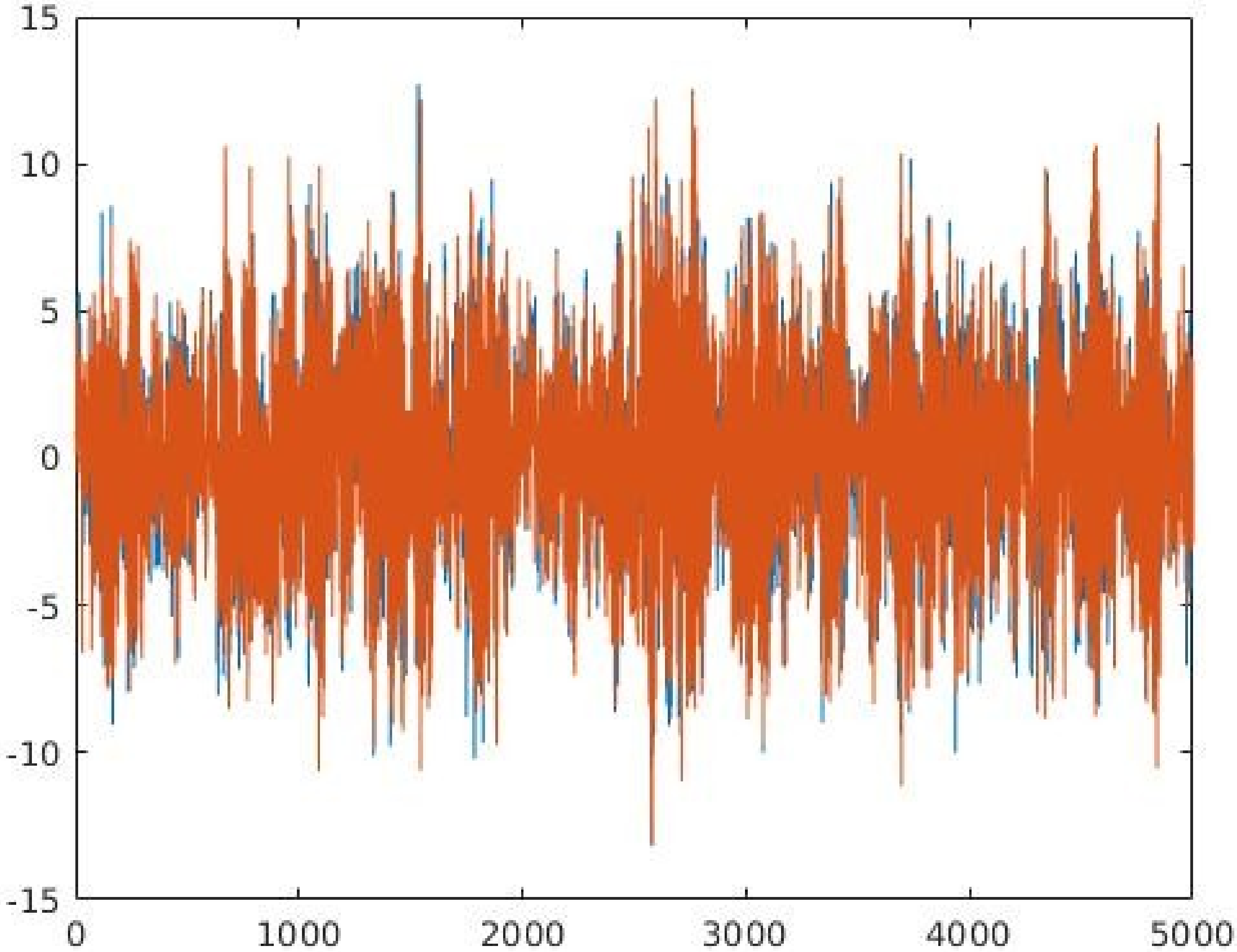
- p=5, N=2



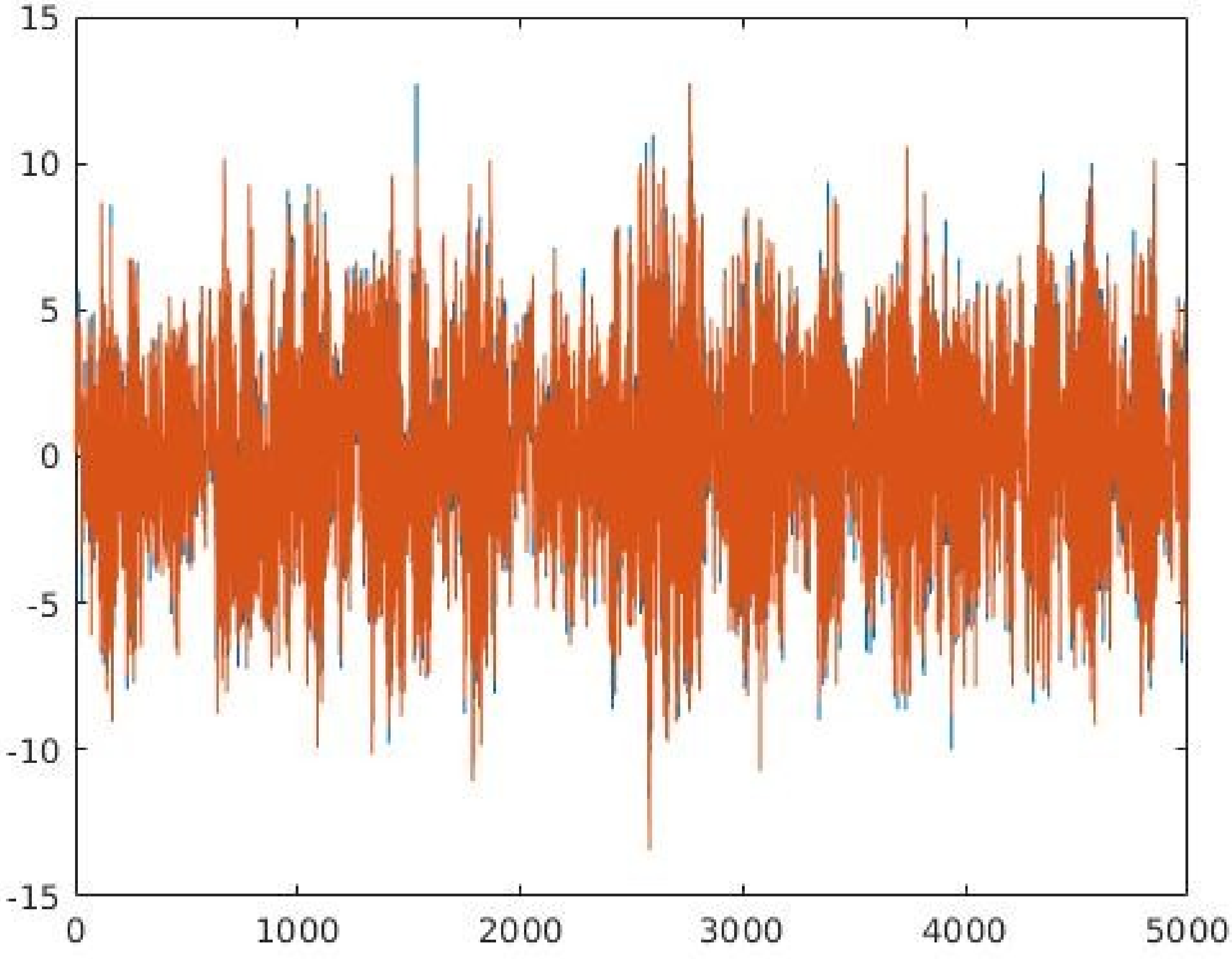
- p=5, N=3



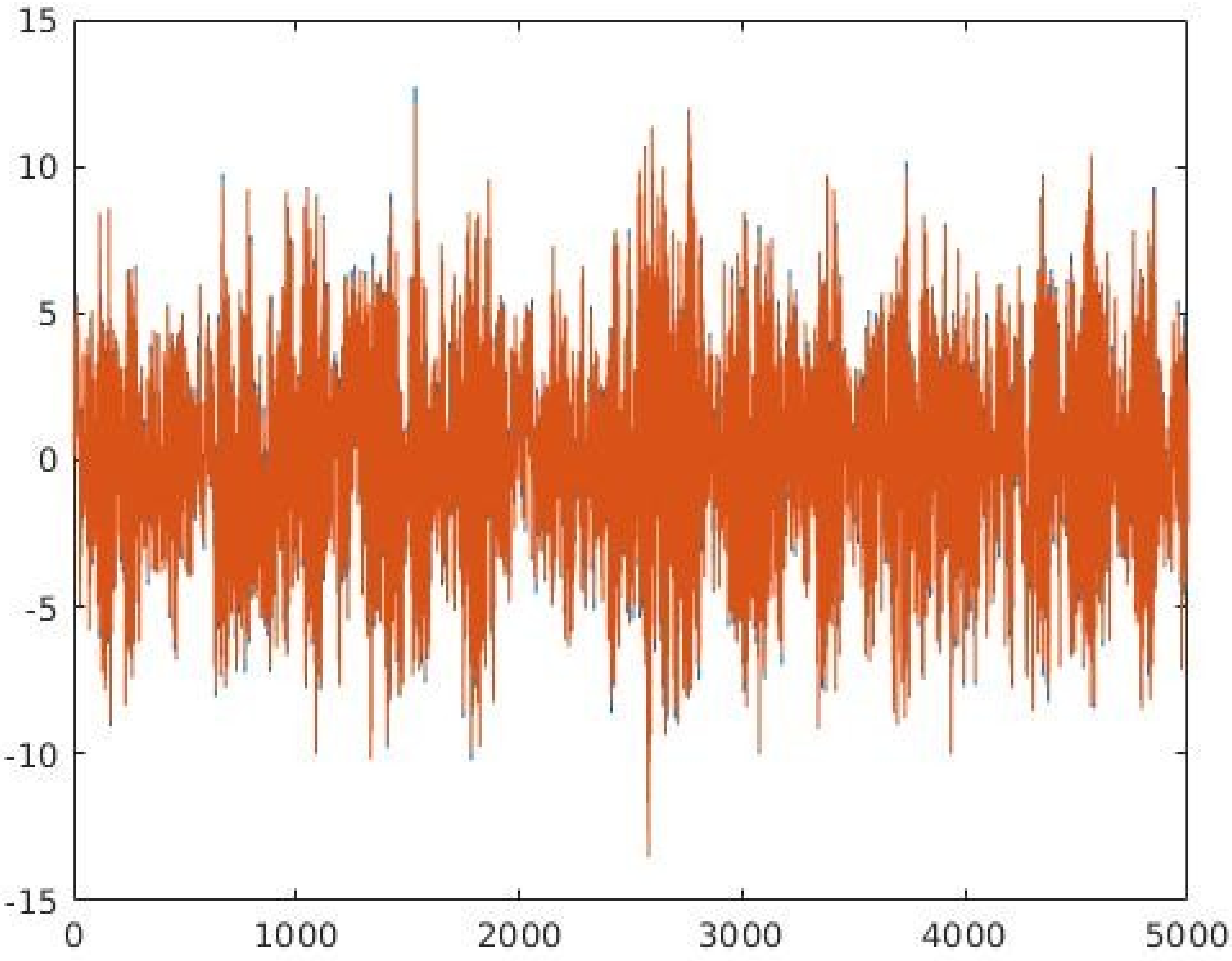
- p=10, N=1



- p=10, N=2



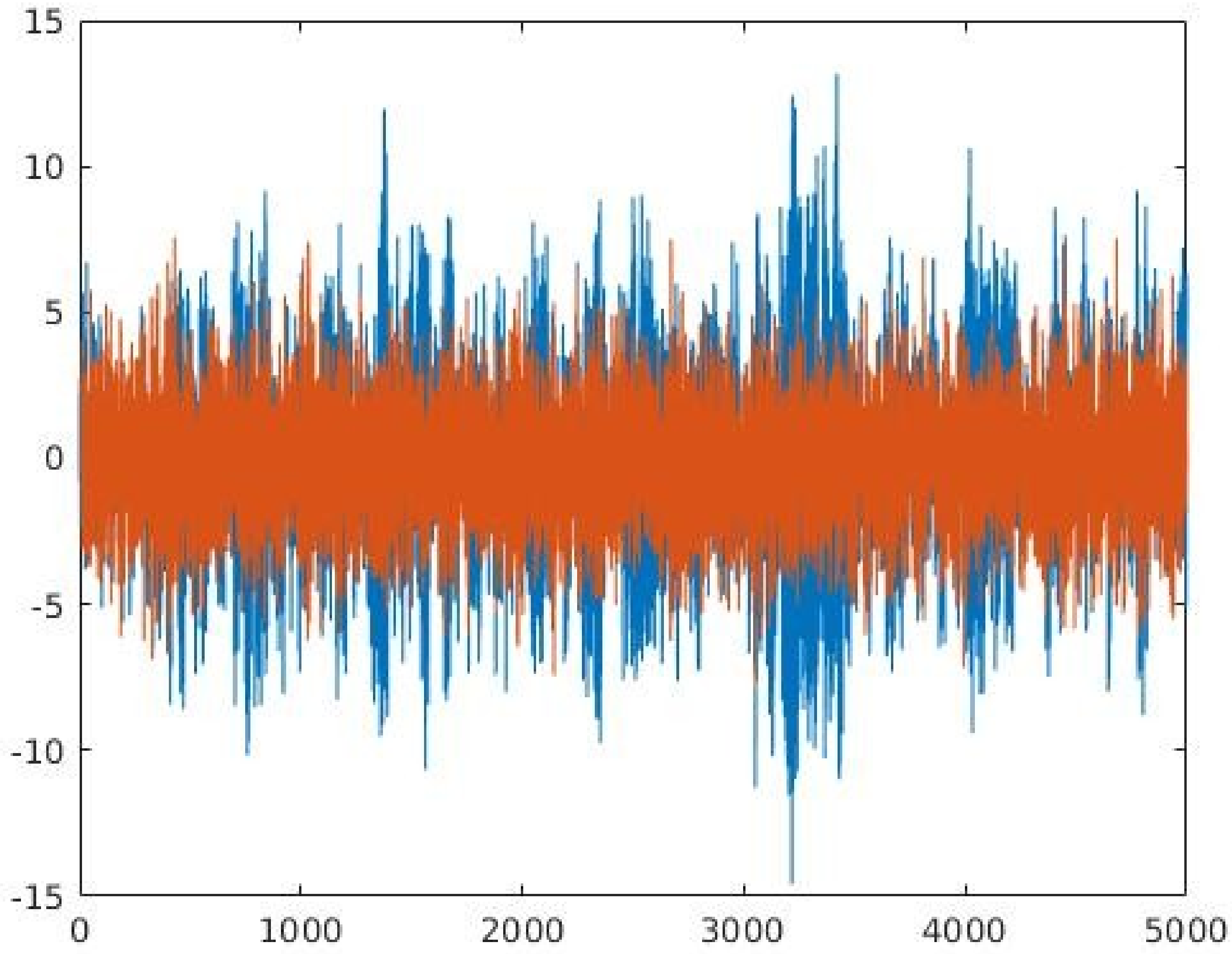
- p=10, N=3



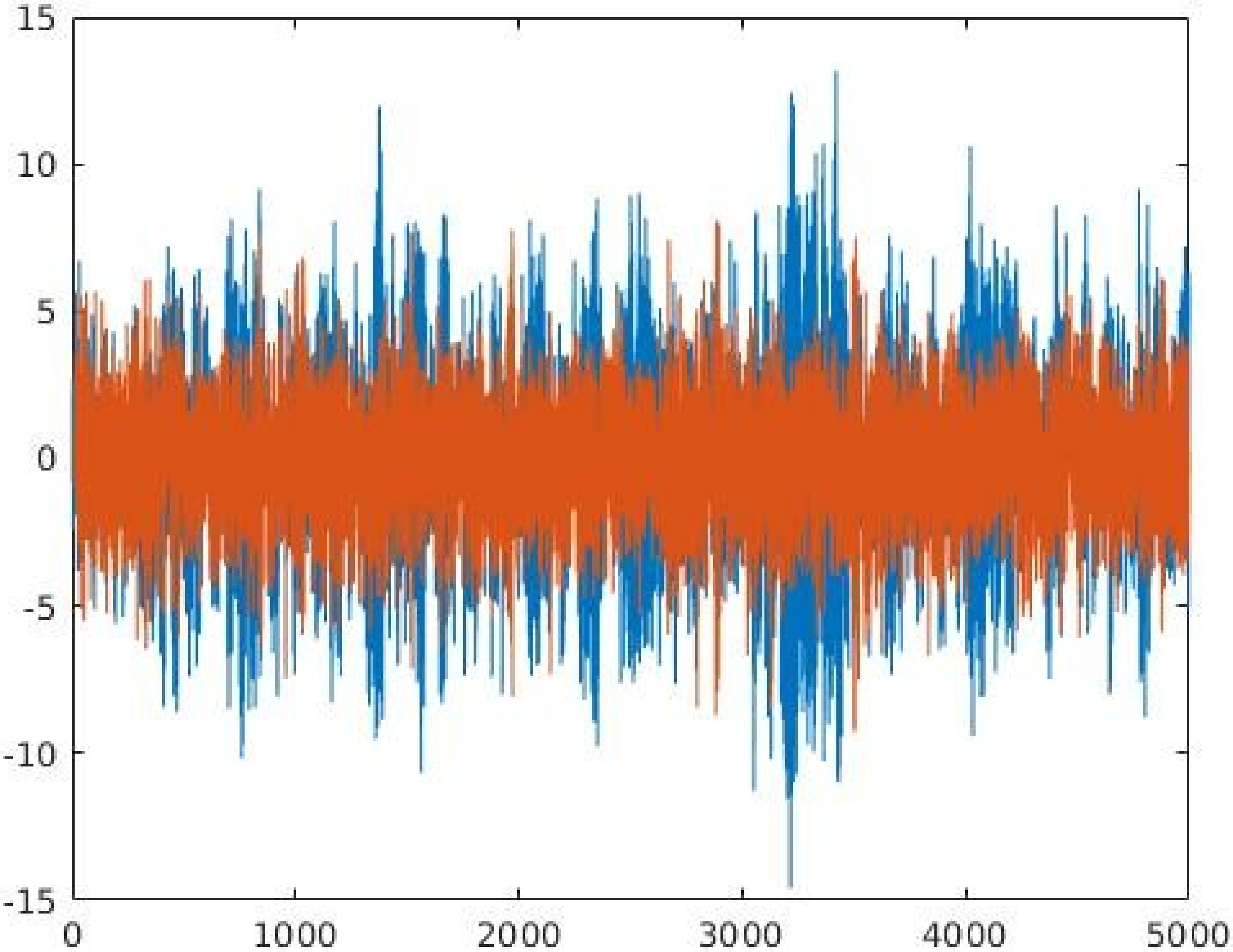
B) Για το δείγμα 5001:10000

2. Παρακάτω είναι τα γραφήματα για τις τιμές του p=8,10 και για τις τιμές του N=1,2,3. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το αρχικό σήμα ενώ με πορτοκαλί το σφάλμα πρόβλεψης

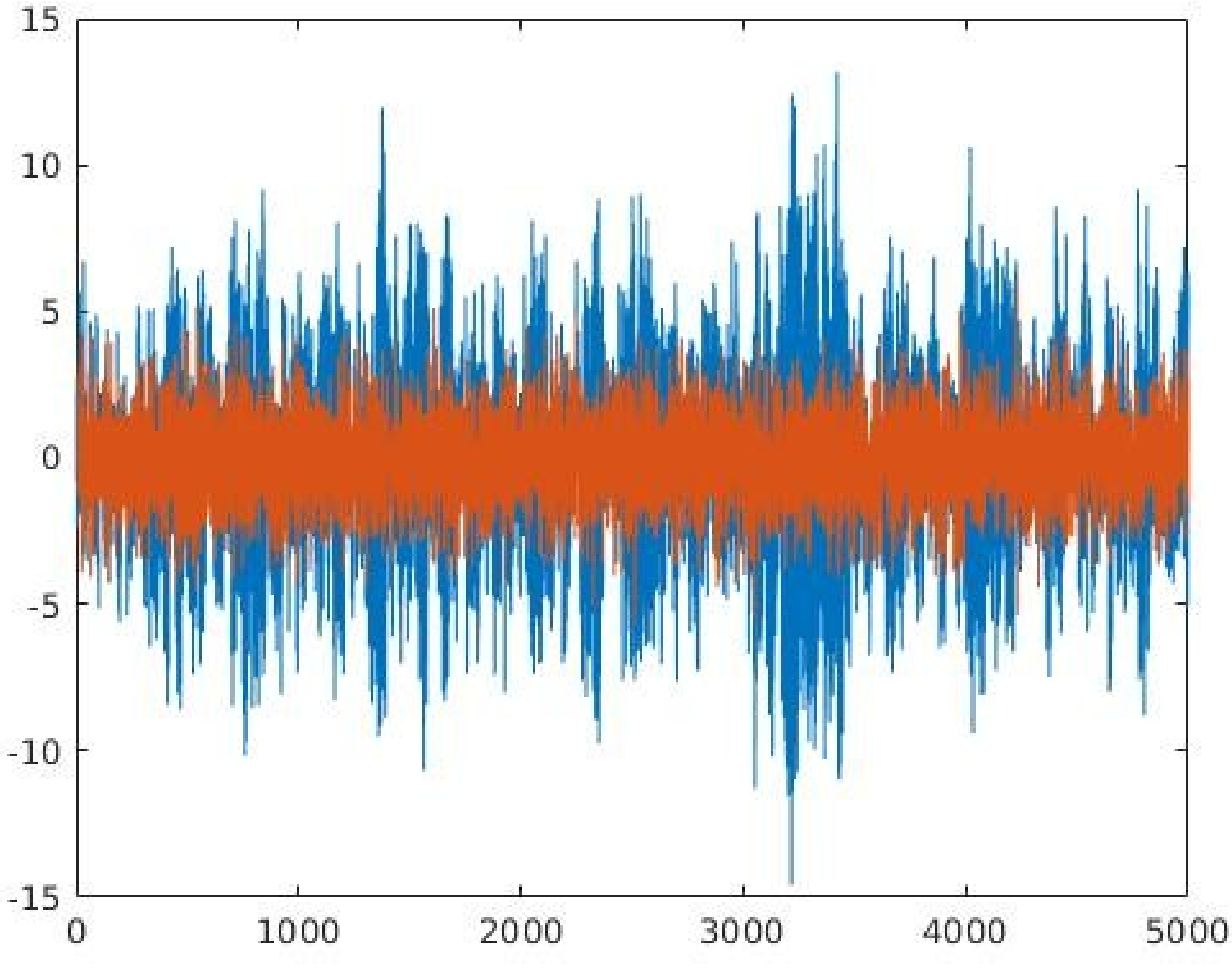
- p=8, N=1



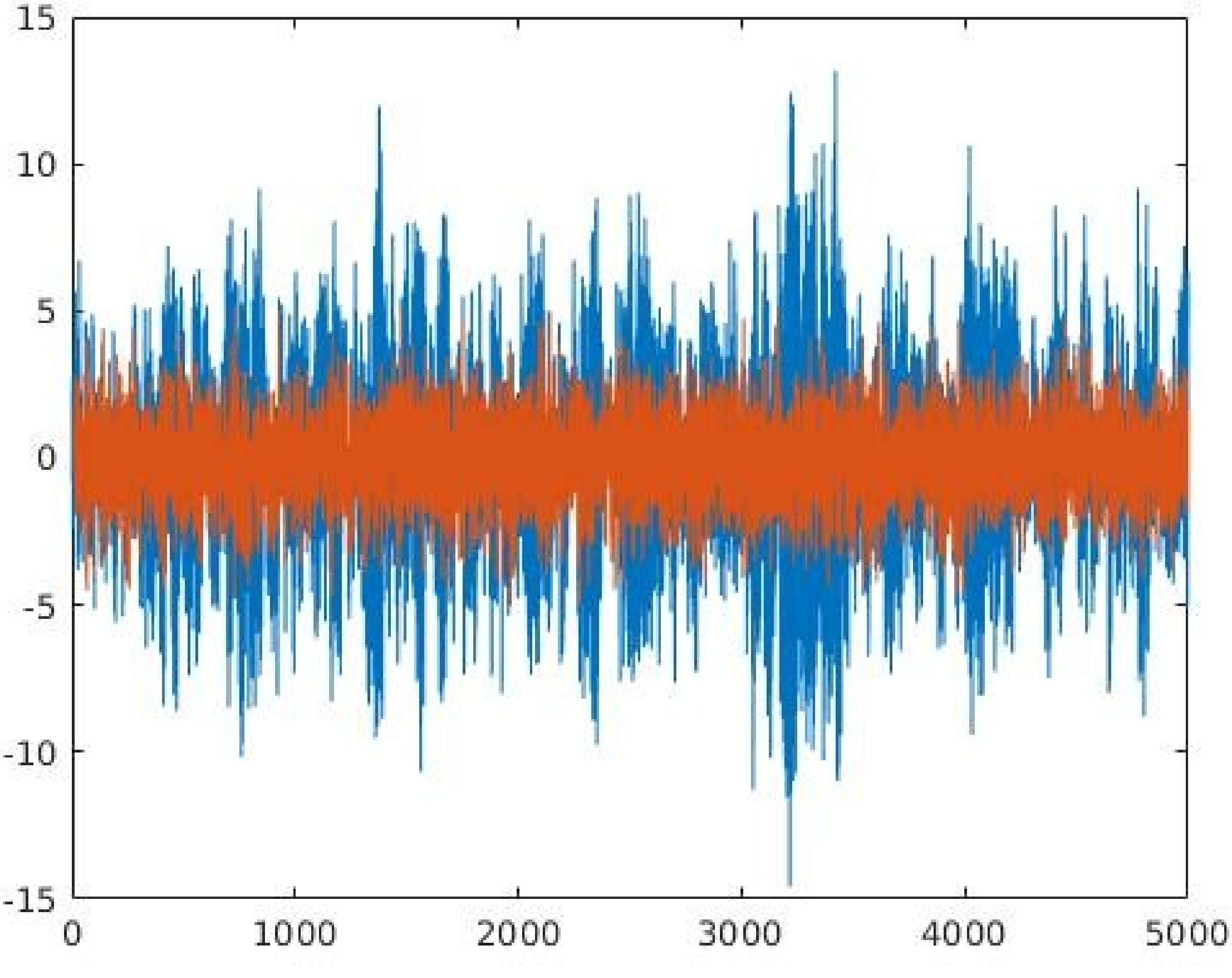
- p=10, N=1



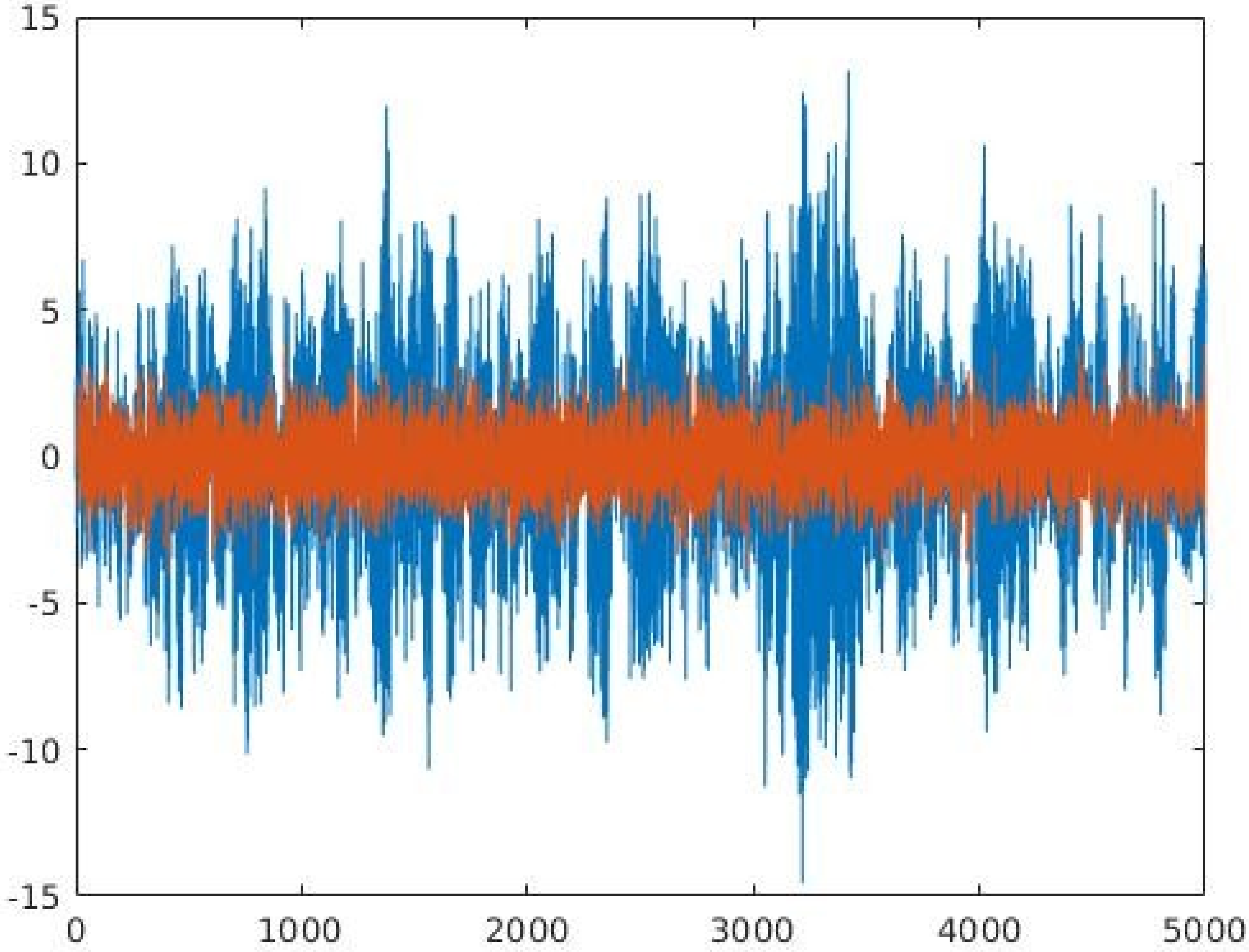
- p=8, N=2



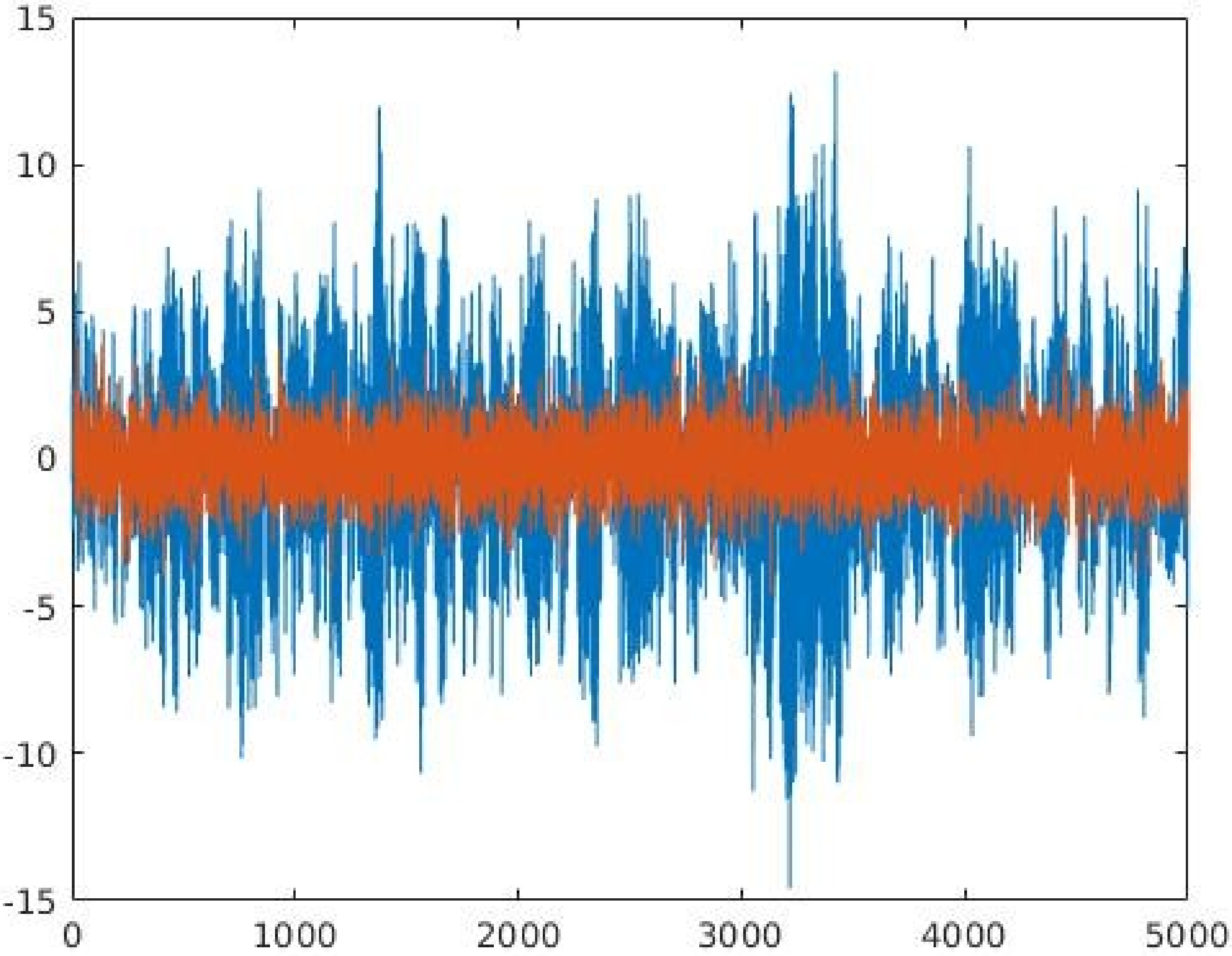
- p=10, N=2



- p=8, N=3

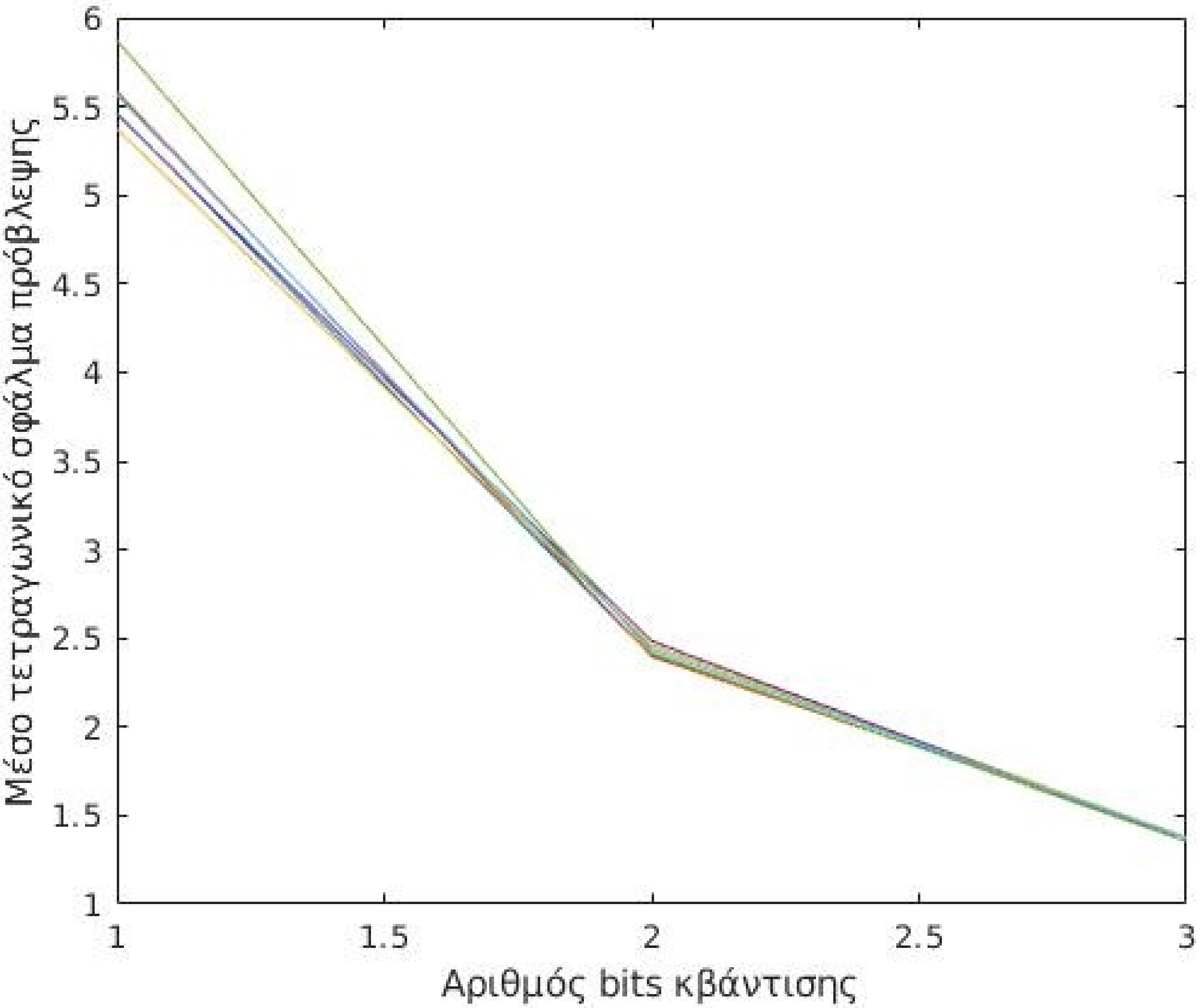


- p=10, N=3



3. Ακολουθεί το διάγραμμα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος πρόβλεψης προς τον αριθμό των bits κβάντισης N.

p=5 ----------- p=8 -----------
p=6 ----------- p=9 -----------
p=7 ----------- p=10 -----------

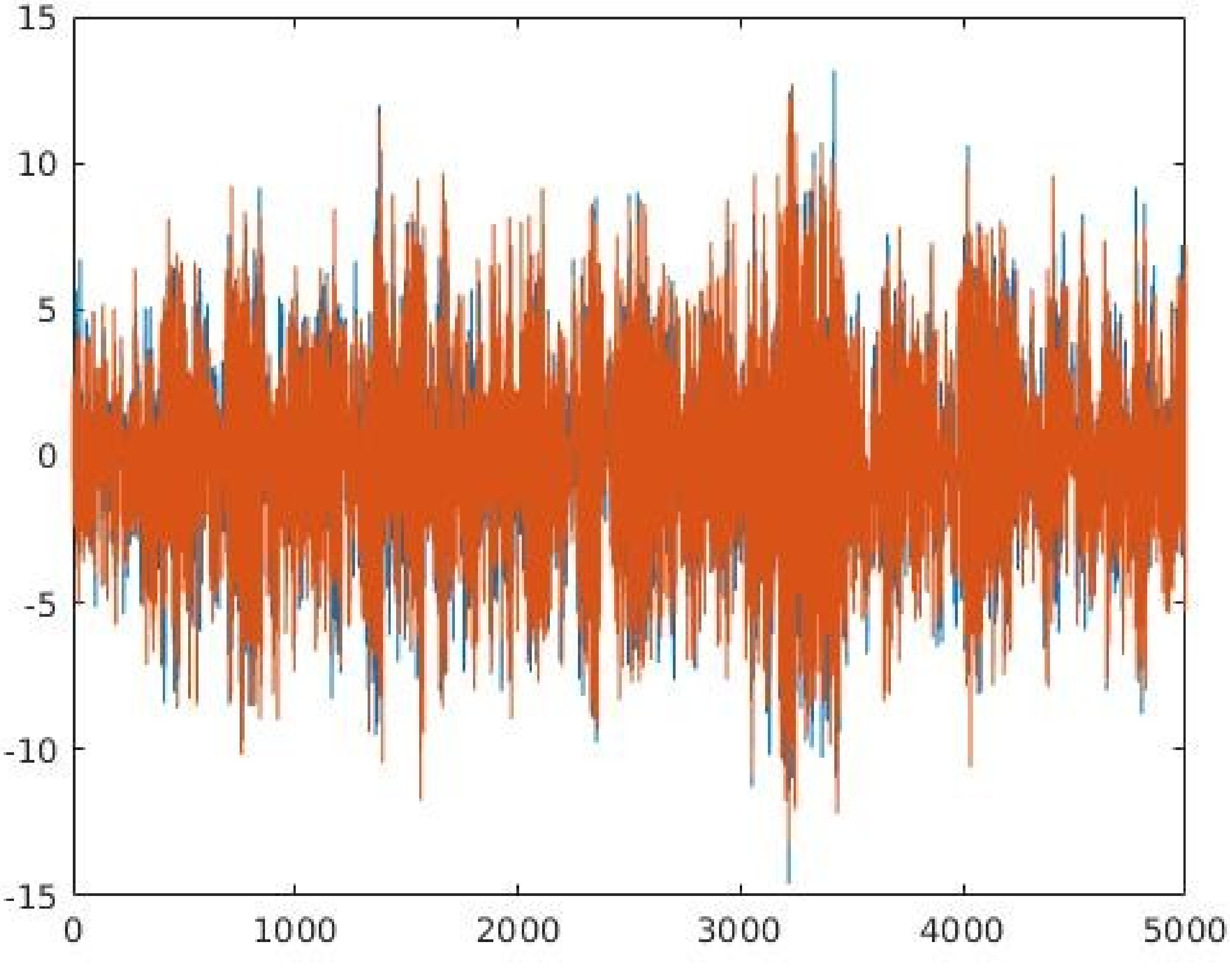


Τιμές του συντελεστή πρόβλεψης για τις τιμές του p από 5 έως 10

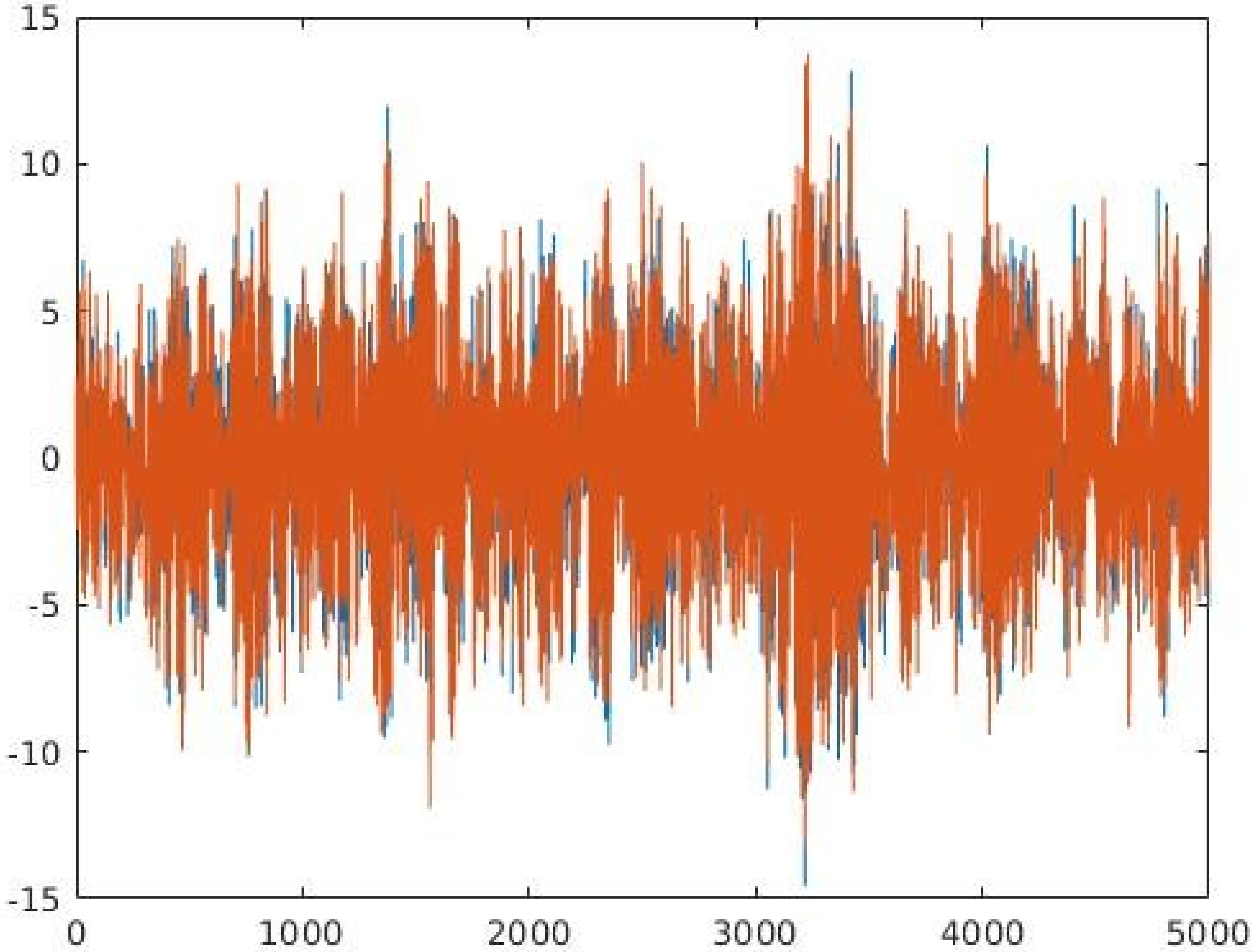
p		**a**									
5		1.4297	-1.5547	1.2422	-0.3203	-0.0234					
6		1.4297	-1.5547	1.2422	-0.3203	-0.0078	-0.0078				
7		1.4297	-1.5547	1.2422	-0.3672	-0.0234	-0.0547	0.0234			
8		1.4297	-1.5547	1.2578	-0.3672	0.0391	-0.0547	0.0391	-0.0078		
9		1.4297	-1.5547	1.2578	-0.3672	0.0234	-0.0391	0.0078	0.0234	-0.0078	
10		1.4297	-1.5547	1.2578	-0.3672	0.0234	-0.0391	0.0078	0.0078	-0.0078	-0.0078

4. Σε αυτό το ερώτημα παρατίθενται στα ίδια διαγράμματα το αρχικό και το ανακατασκευασμένο σήμα για τις τιμές του p=5,10 και για N=1,2,3. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το αρχικό σήμα ενώ με πορτοκαλί το ανακατασκευασμένο σήμα.

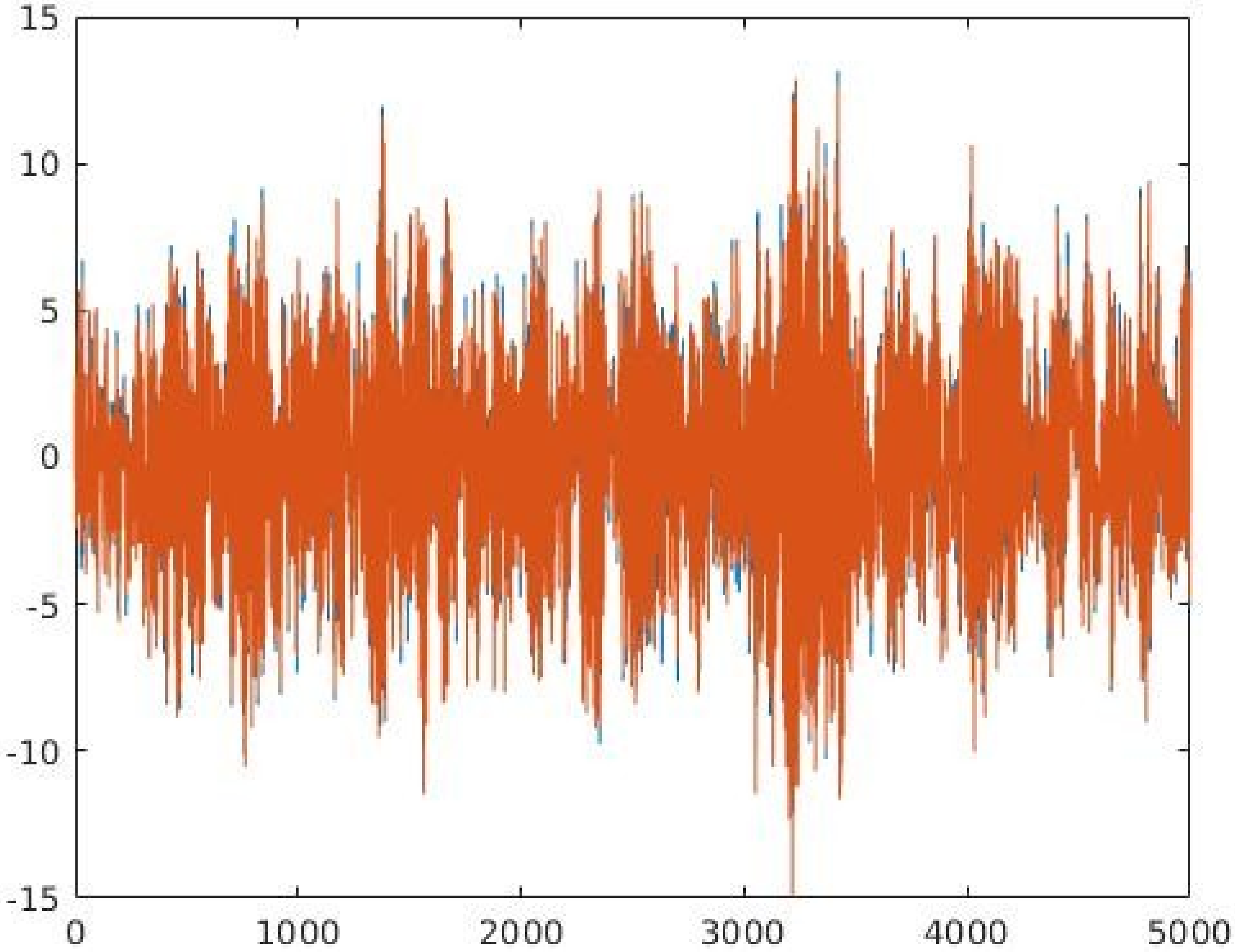
- p=5, N=1



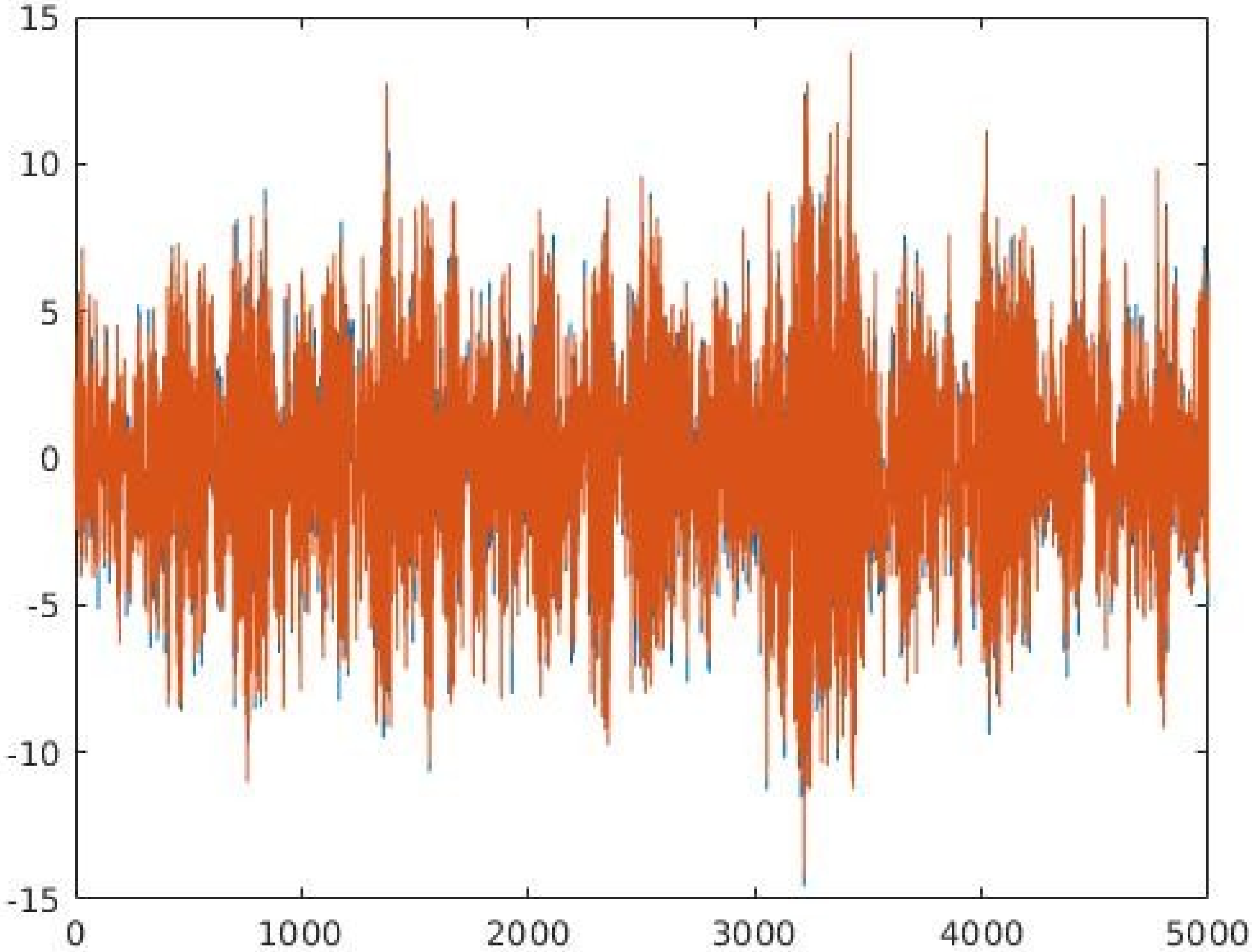
- p=10, N=1



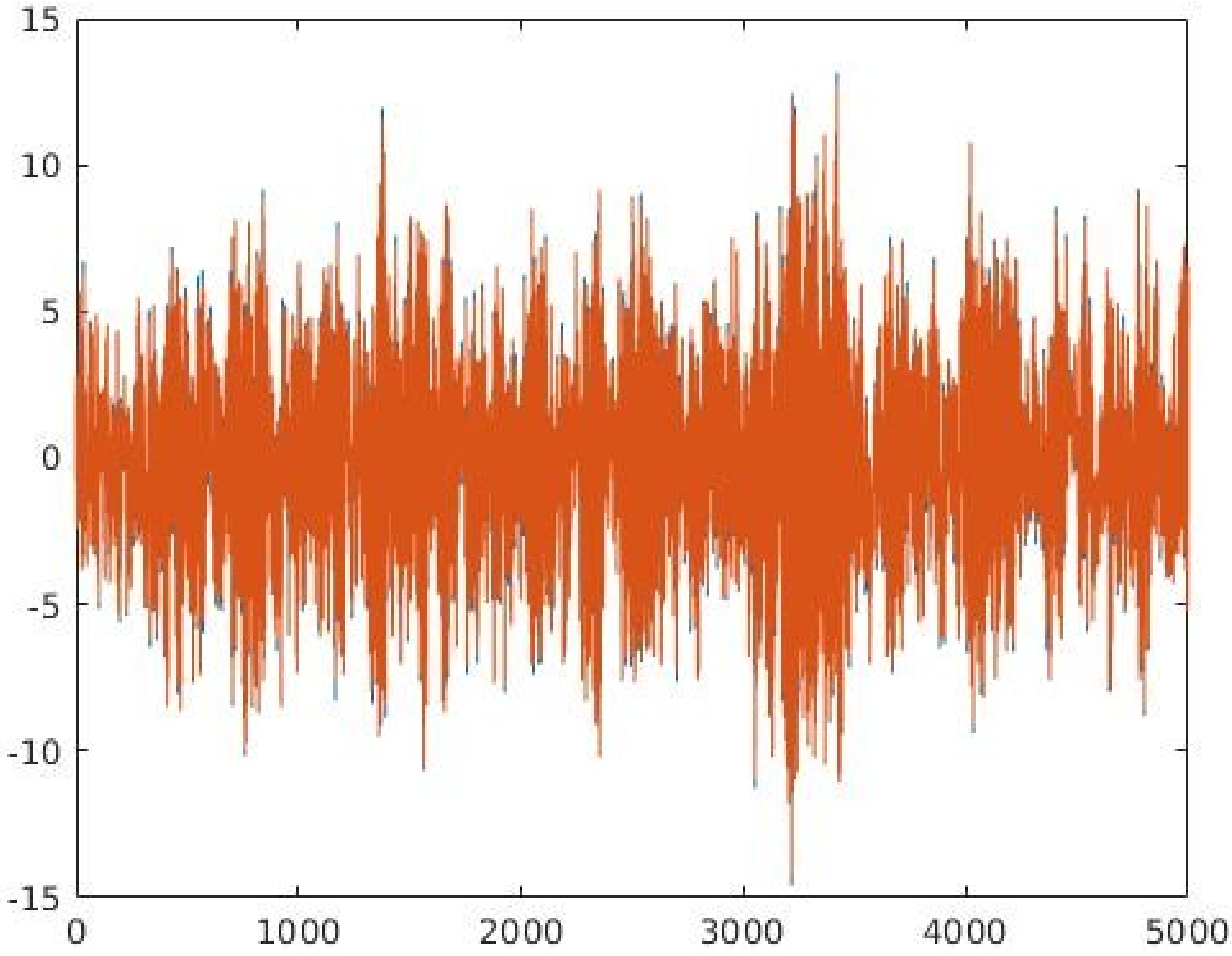
- p=5, N=2



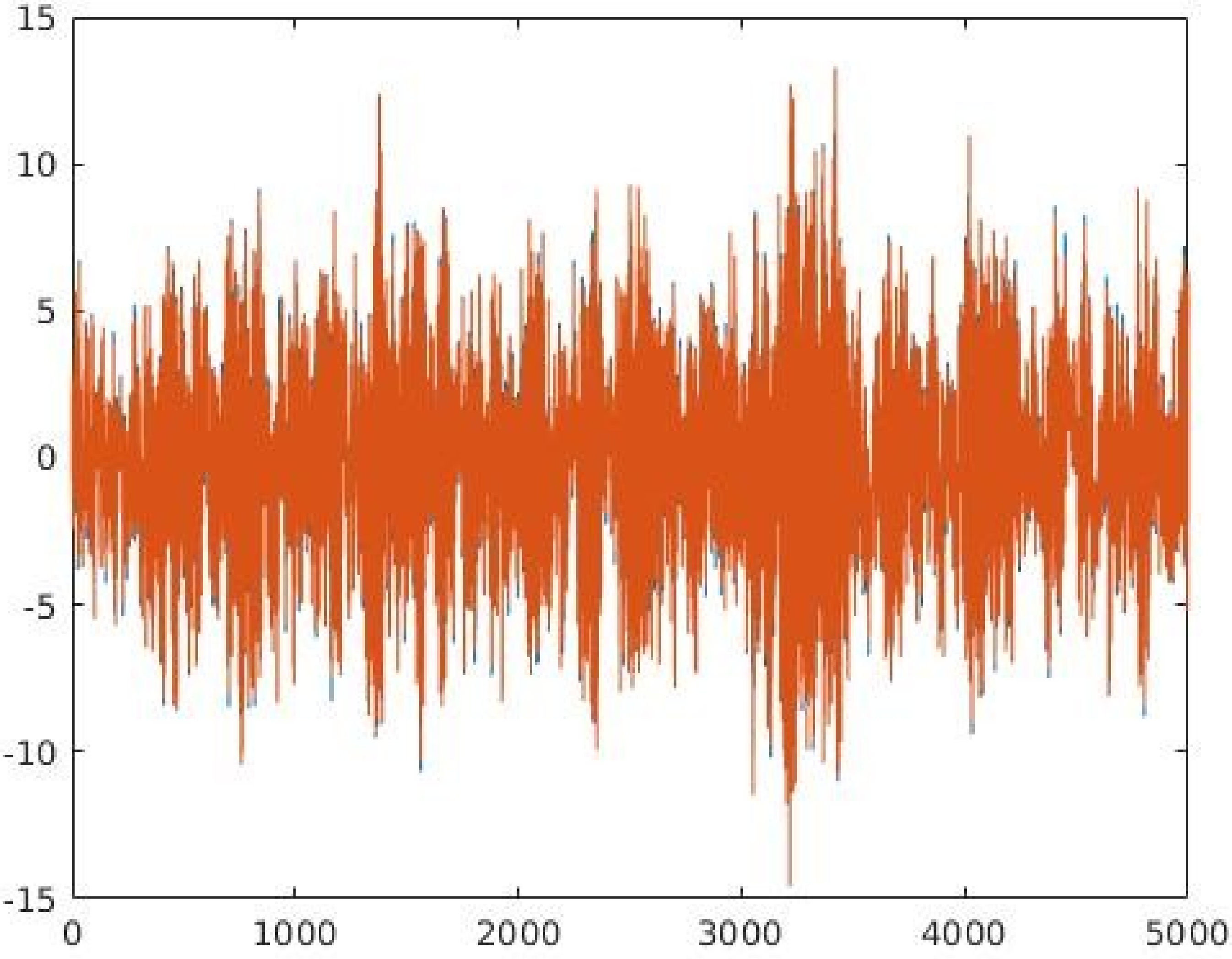
- p=10, N=2



- p=5, N=3



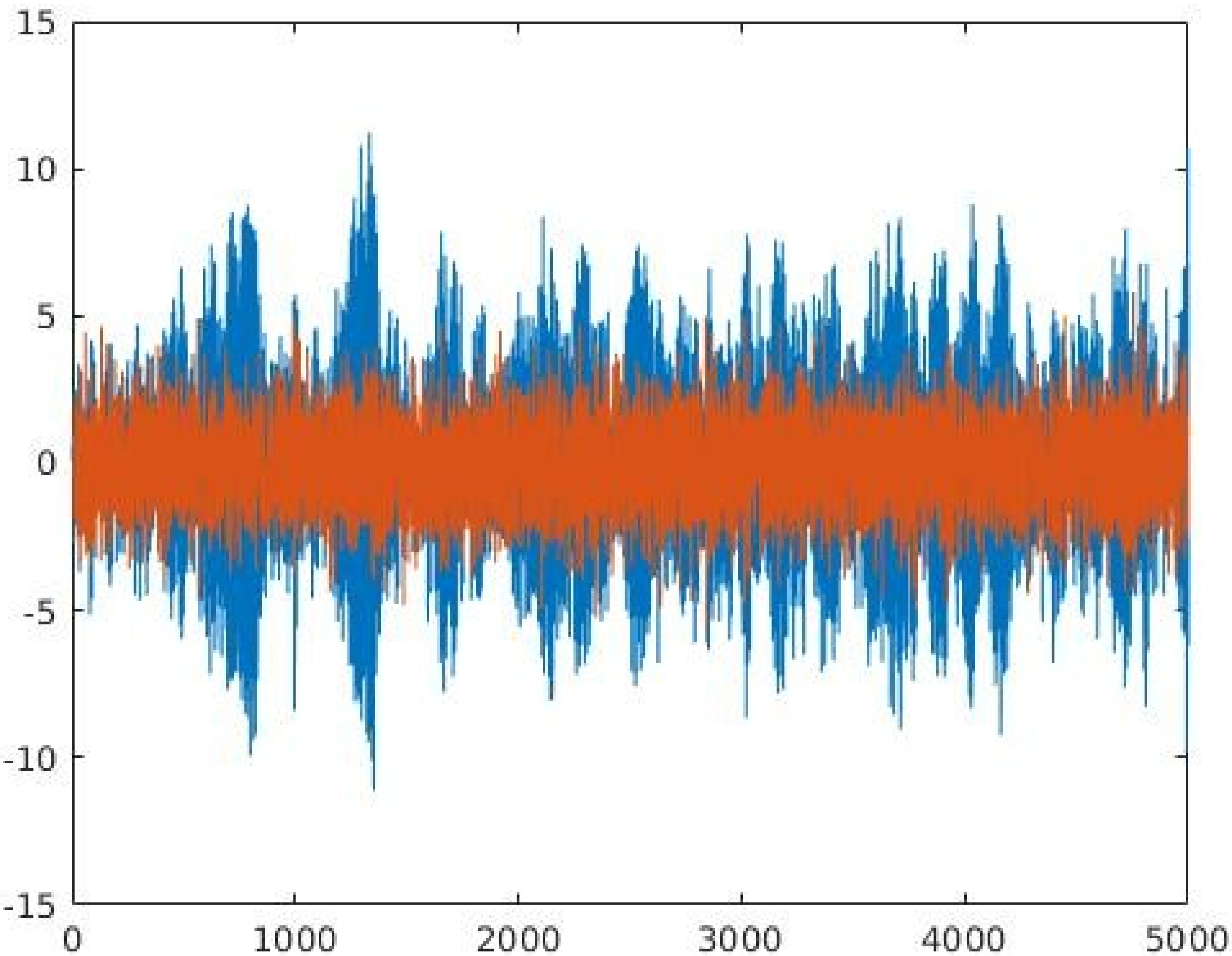
- p=10, N=3



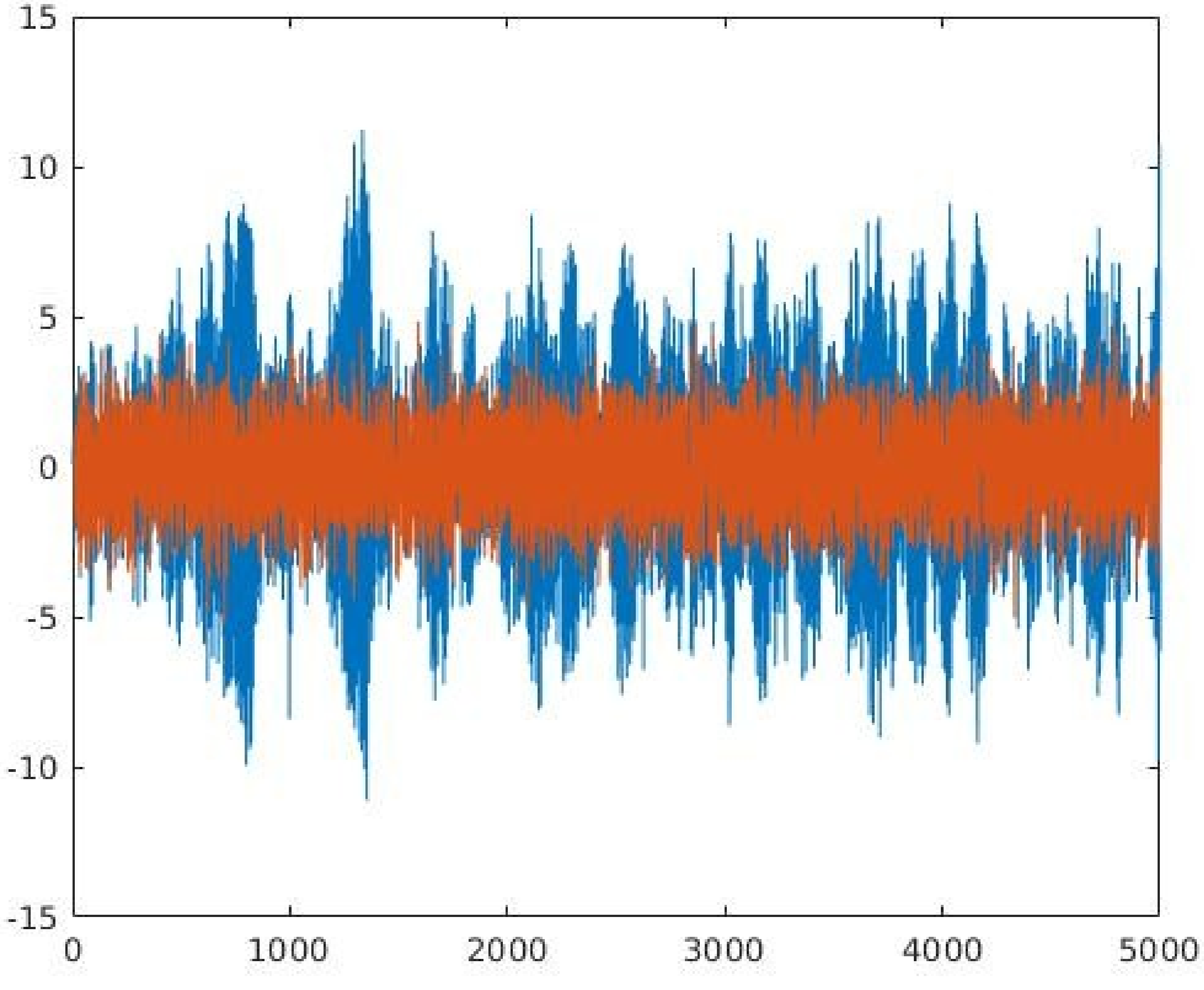
Γ) Για το δείγμα 10001:15000

2. Παρακάτω είναι τα γραφήματα για τις τιμές του p=8,10 και για τις τιμές του N=1,2,3. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το αρχικό σήμα ενώ με πορτοκαλί το σφάλμα πρόβλεψης

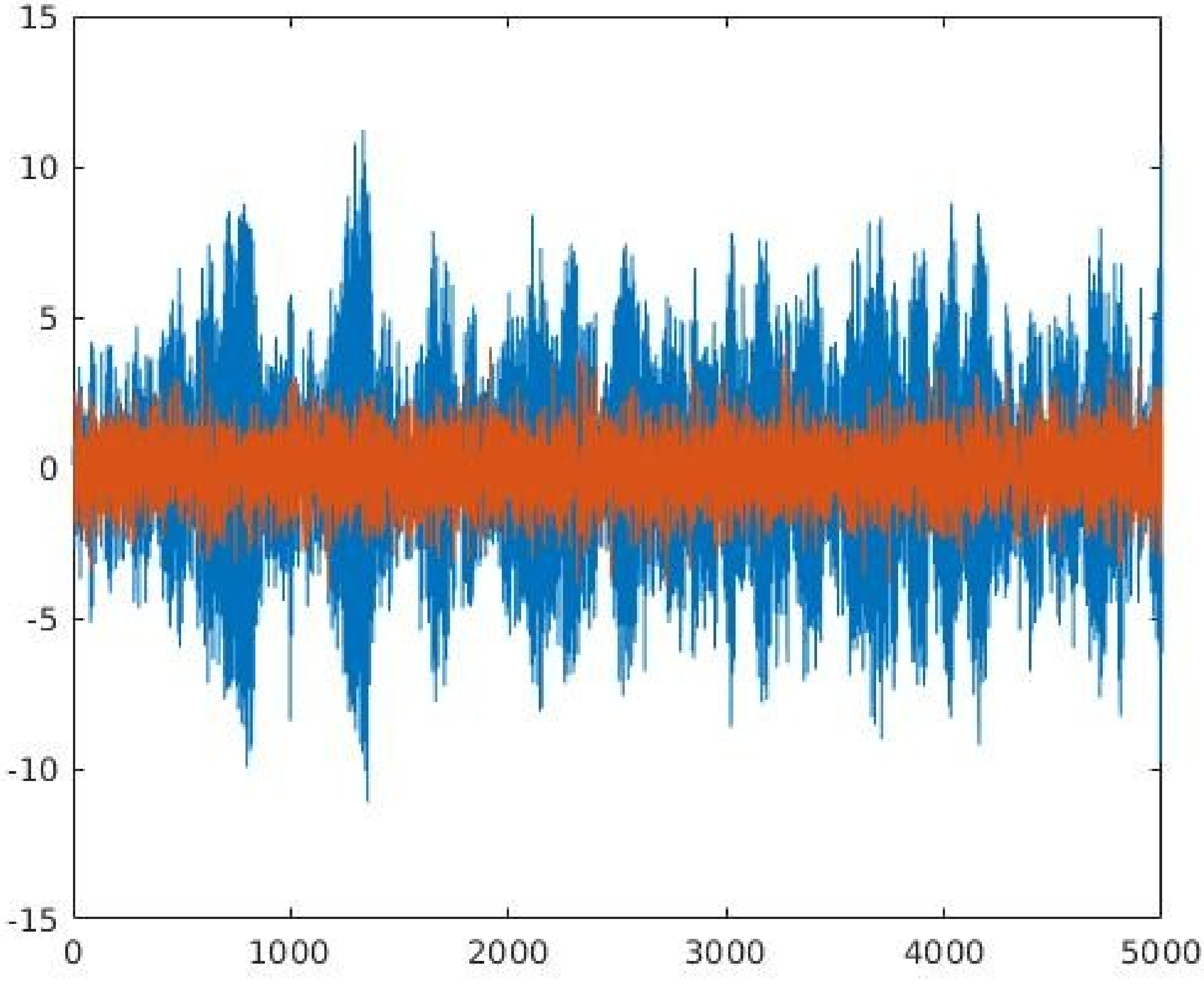
- p=8, N=1



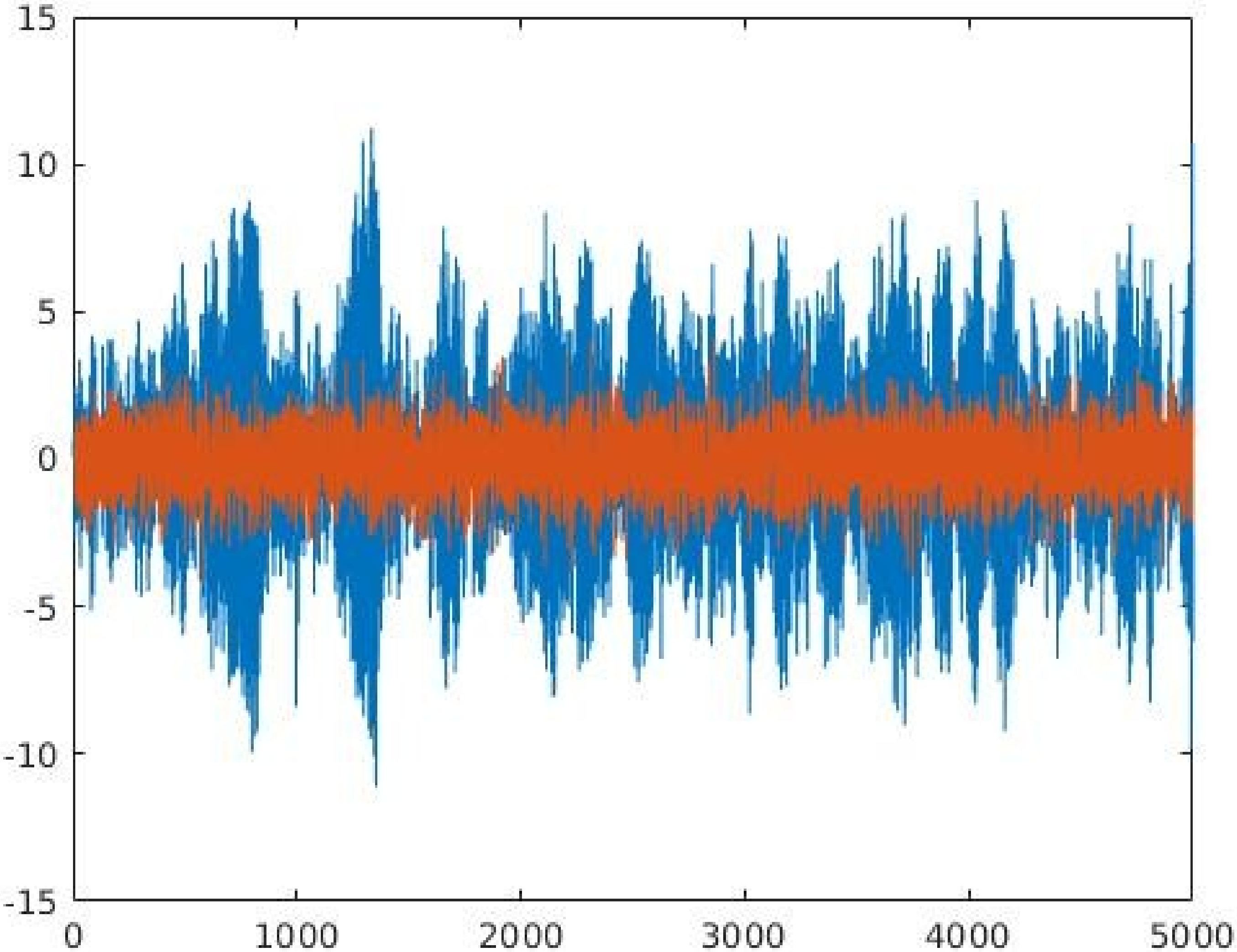
- p=10, N=1



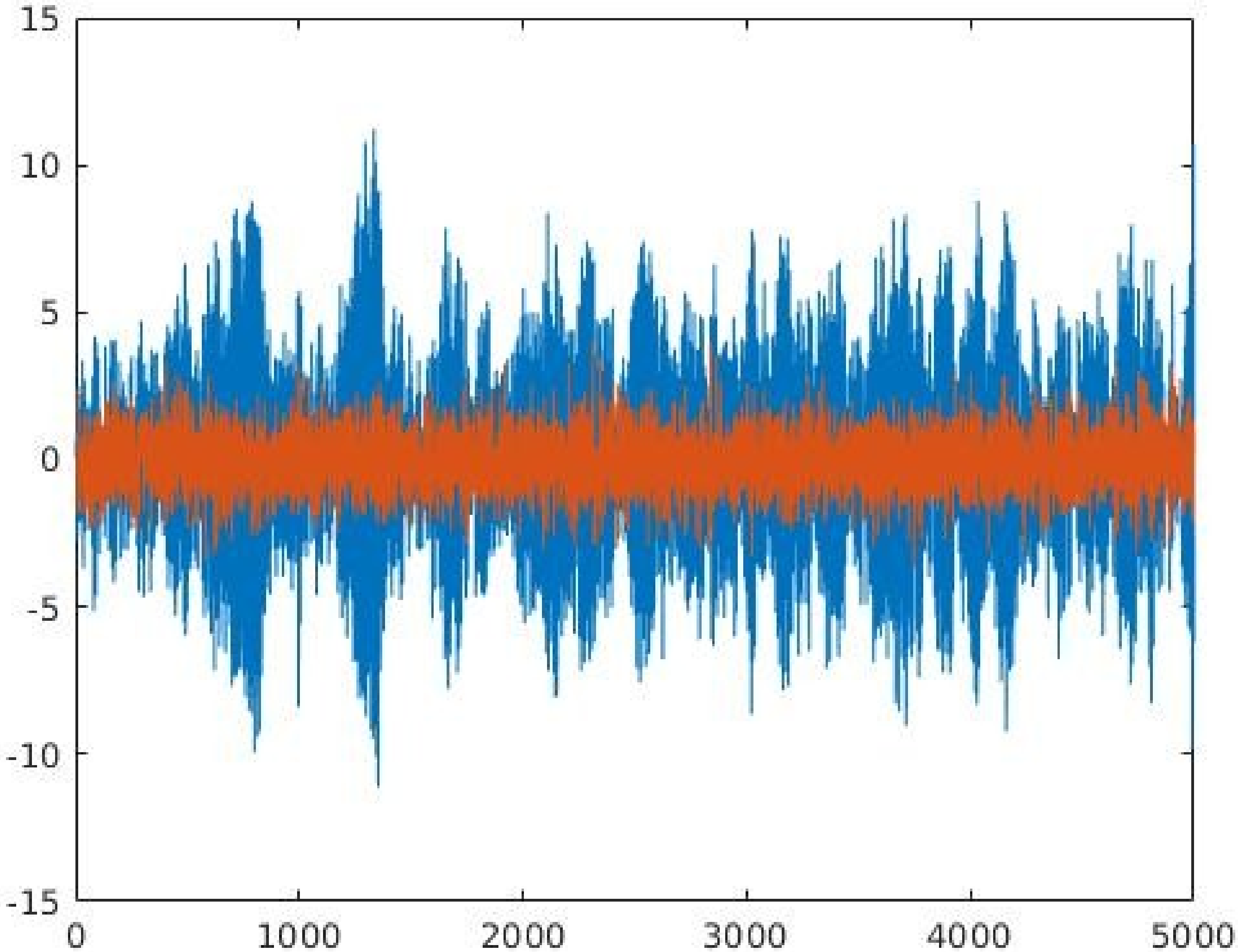
- p=8, N=2



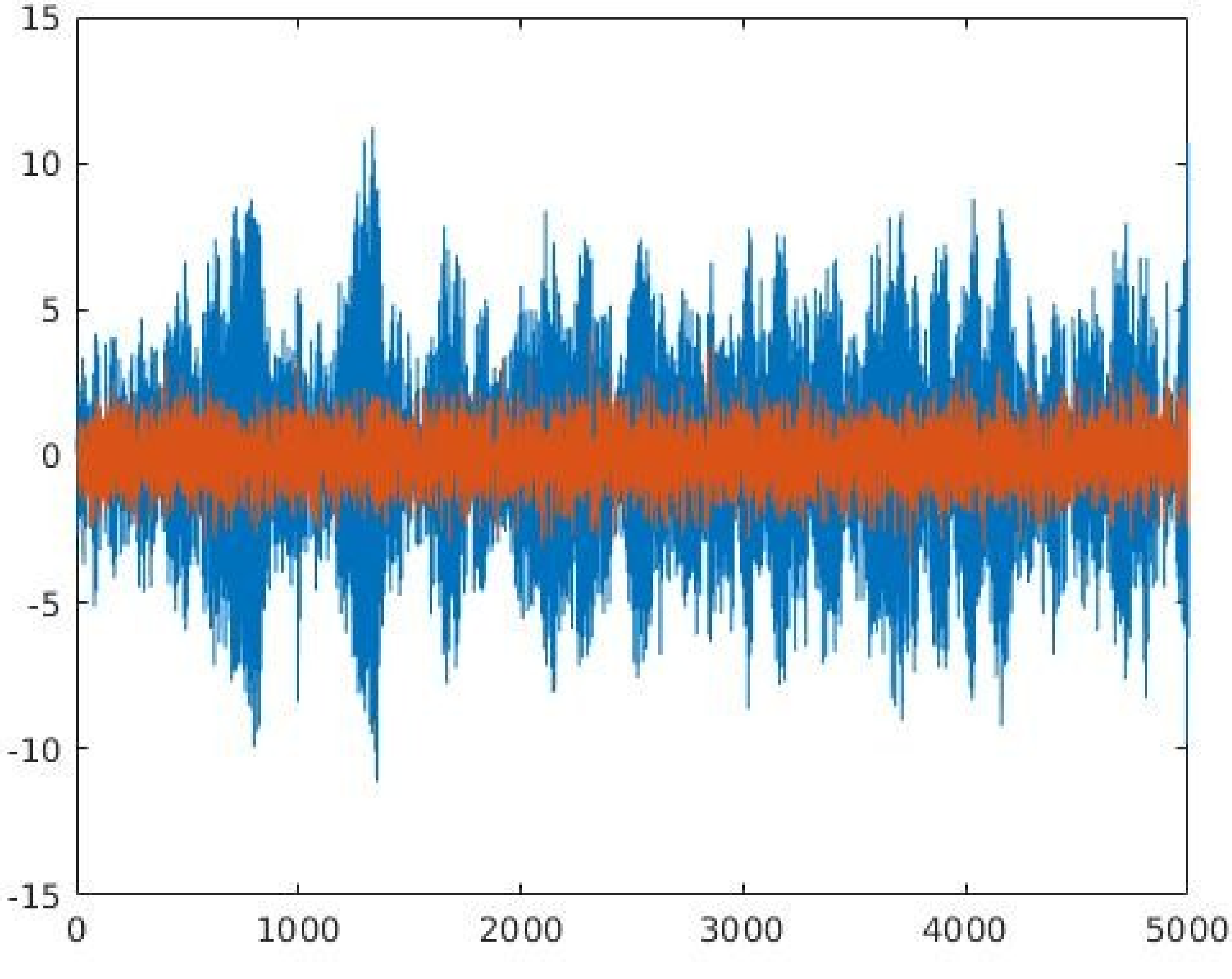
- p=10, N=2



- p=8, N=3

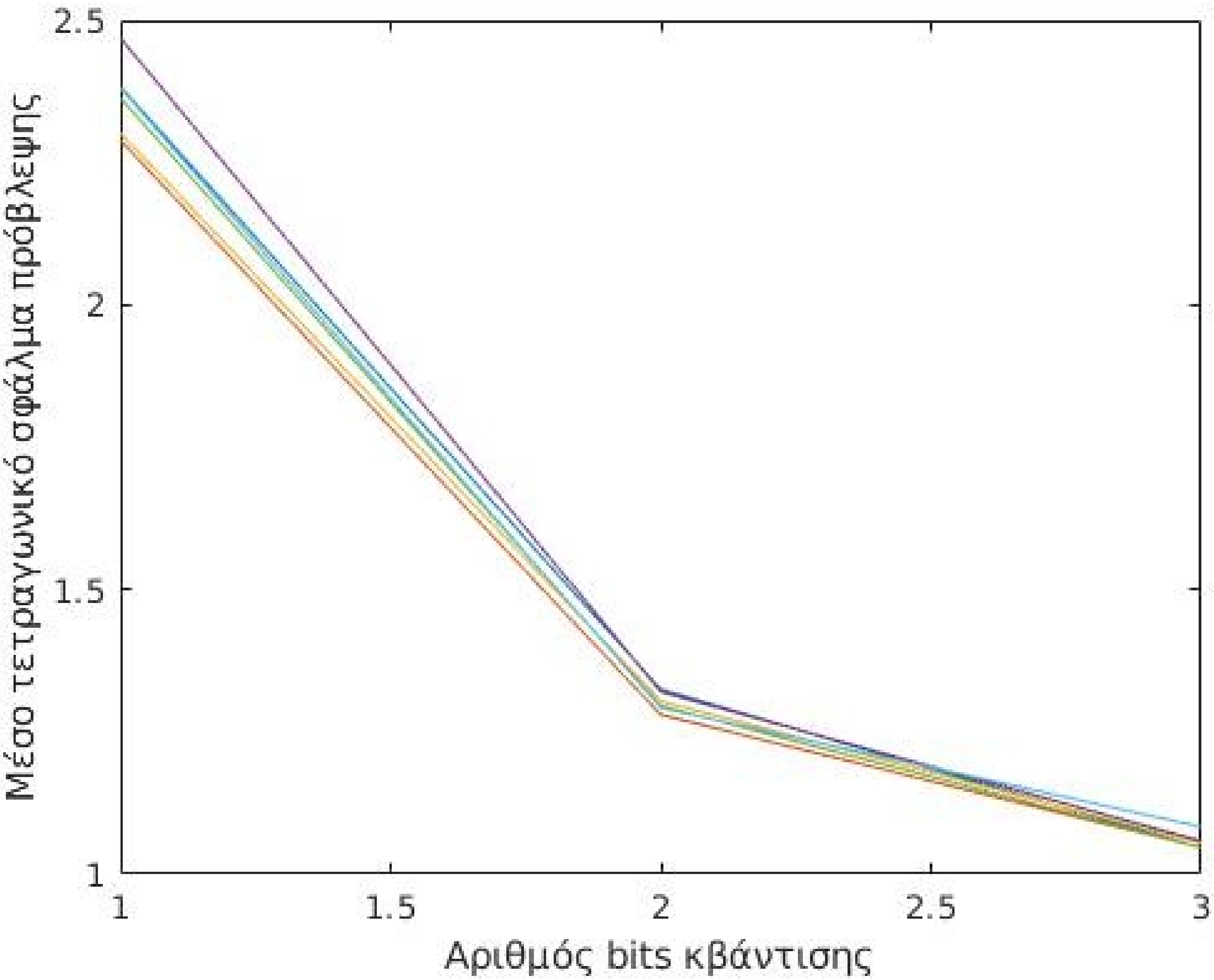


- p=10, N=3



3. Ακολουθεί το διάγραμμα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος πρόβλεψης προς τον αριθμό των bits κβάντισης N.

p=5 -----------   p=8 -----------
p=6 -----------   p=9 -----------
p=7 -----------   p=10 -----------

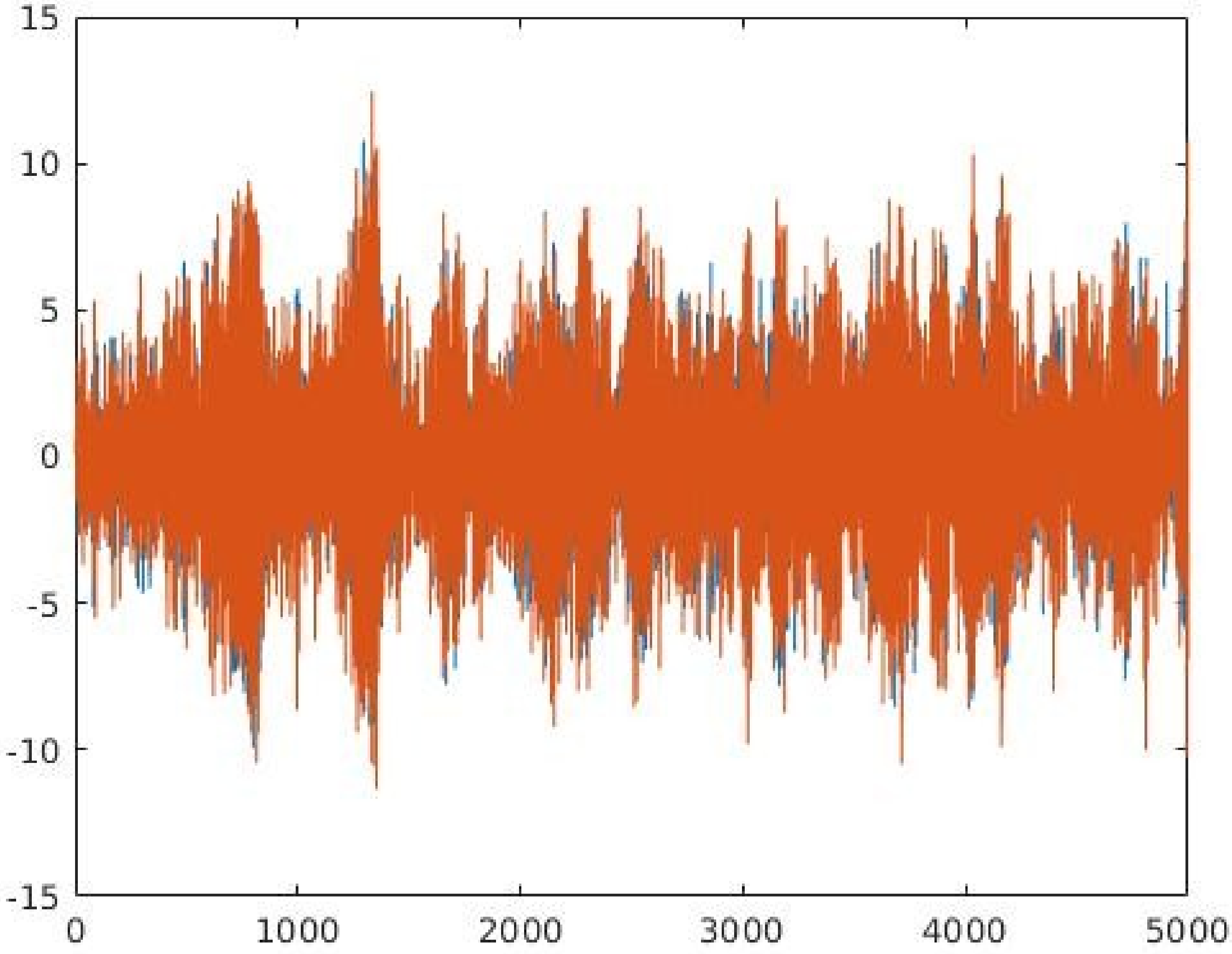


Τιμές του συντελεστή πρόβλεψης για τις τιμές του p από 5 έως 10

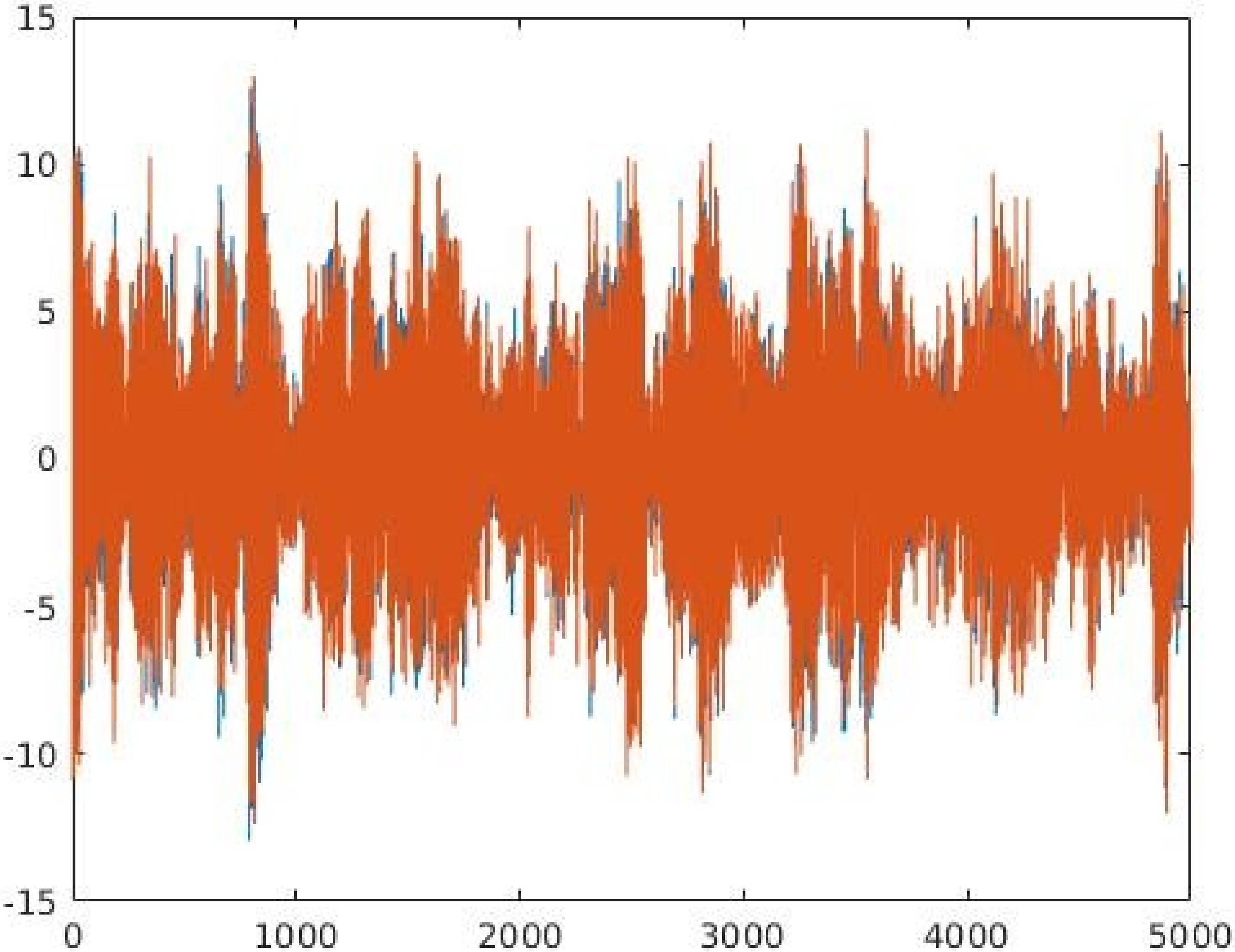
p		**a**									
5		0.5234	-0.7109	0.2578	-0.7266	-0.0859					
6		0.5234	-0.7109	0.2578	-0.7109	-0.1016	0.0078				
7		0.5234	-0.7109	0.2578	-0.7109	-0.1016	0.0078	-0.0234			
8		0.5234	-0.7109	0.2488	-0.7266	-0.1016	0.0078	-0.0078	-0.0078		
9		0.5234	-0.7109	0.2488	-0.7266	-0.1016	0.0078	-0.0078	-0.0078	-0.0078	
10		0.5234	-0.7109	0.2488	-0.7266	-0.1016	0.0078	-0.0078	-0.0078	-0.0078	-0.0078

4. Σε αυτό το ερώτημα παρατίθενται στα ίδια διαγράμματα το αρχικό και το ανακατασκευασμένο σήμα για τις τιμές του p=5,10 και για N=1,2,3. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το αρχικό σήμα ενώ με πορτοκαλί το ανακατασκευασμένο σήμα.

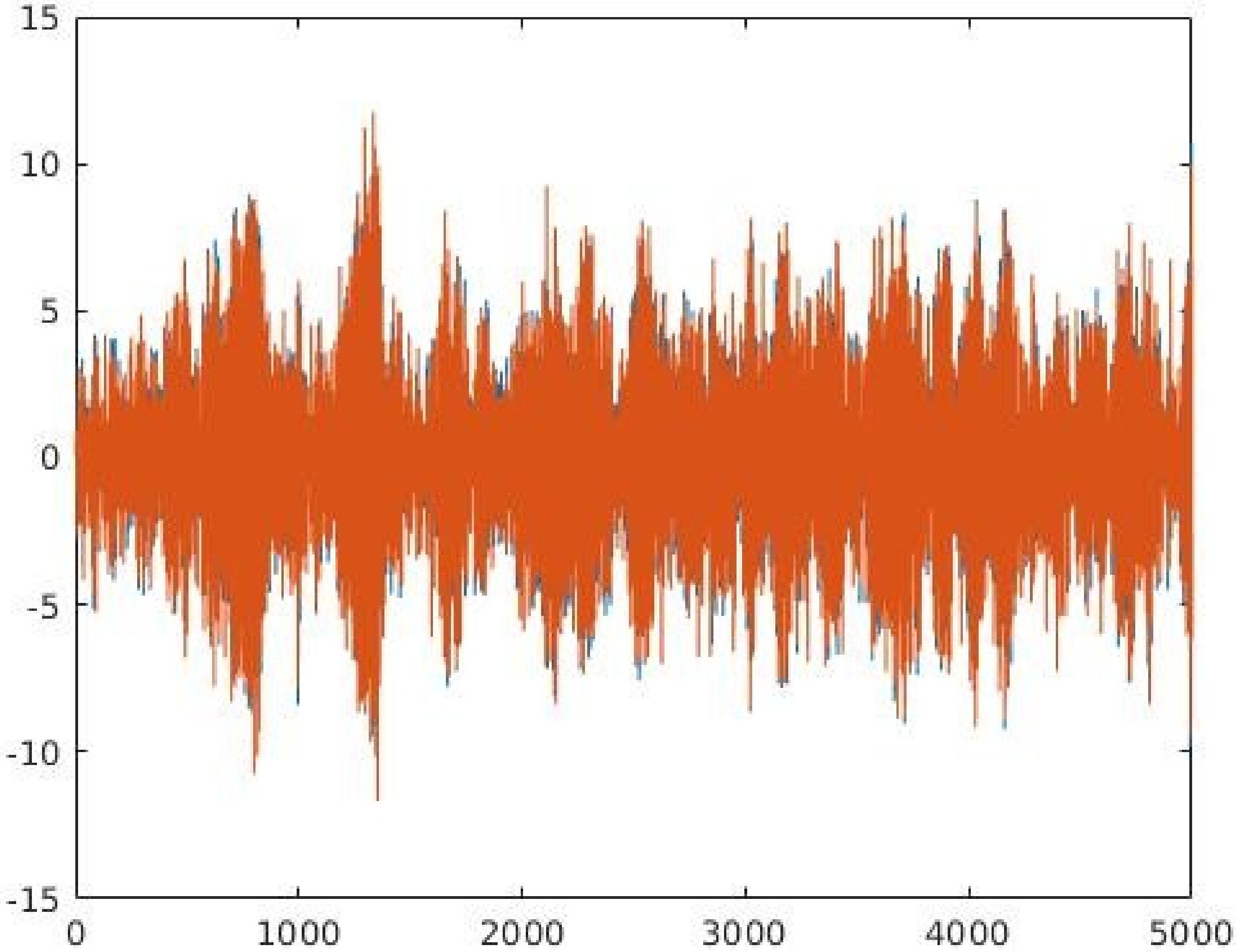
- p=5, N=1



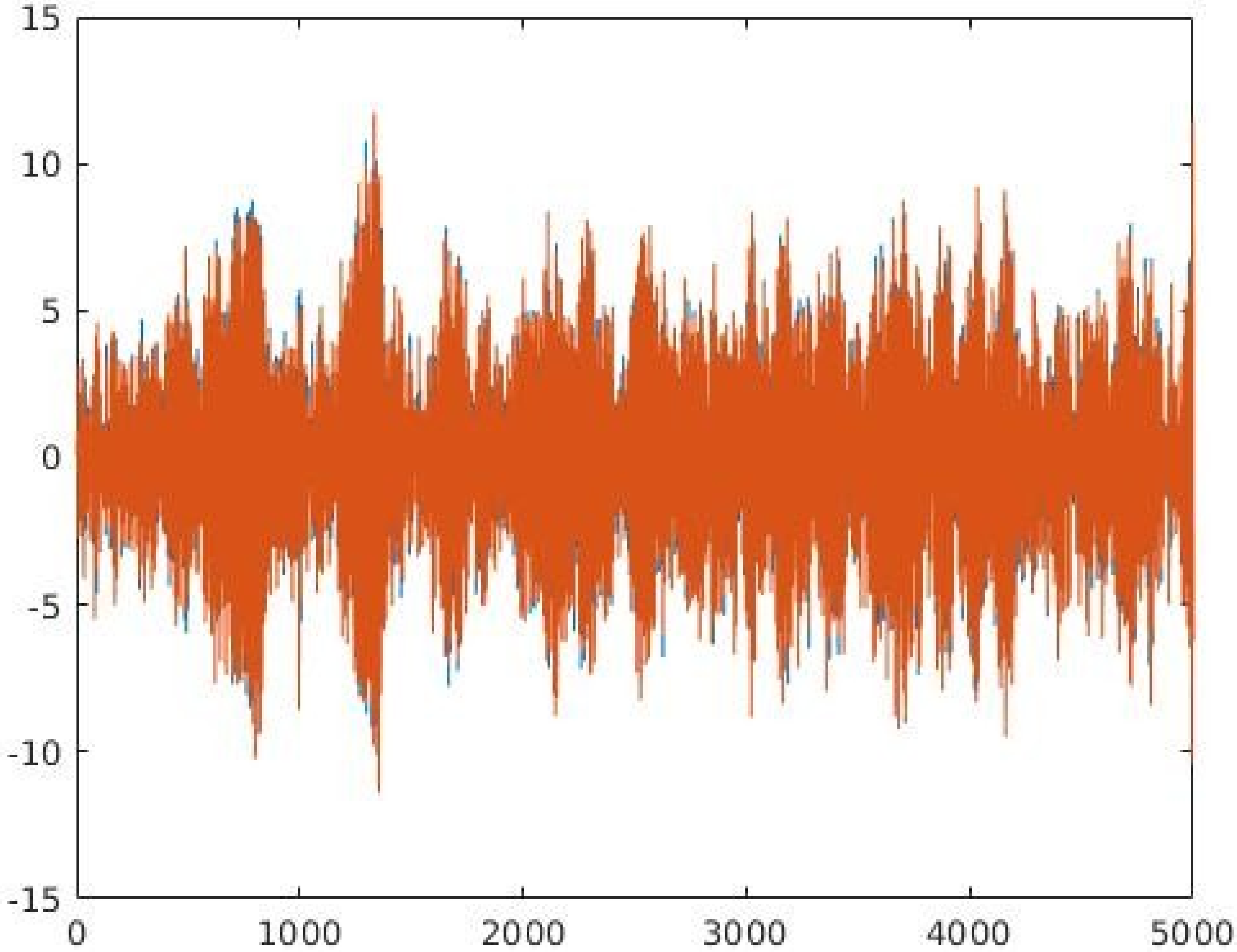
- p=10, N=1



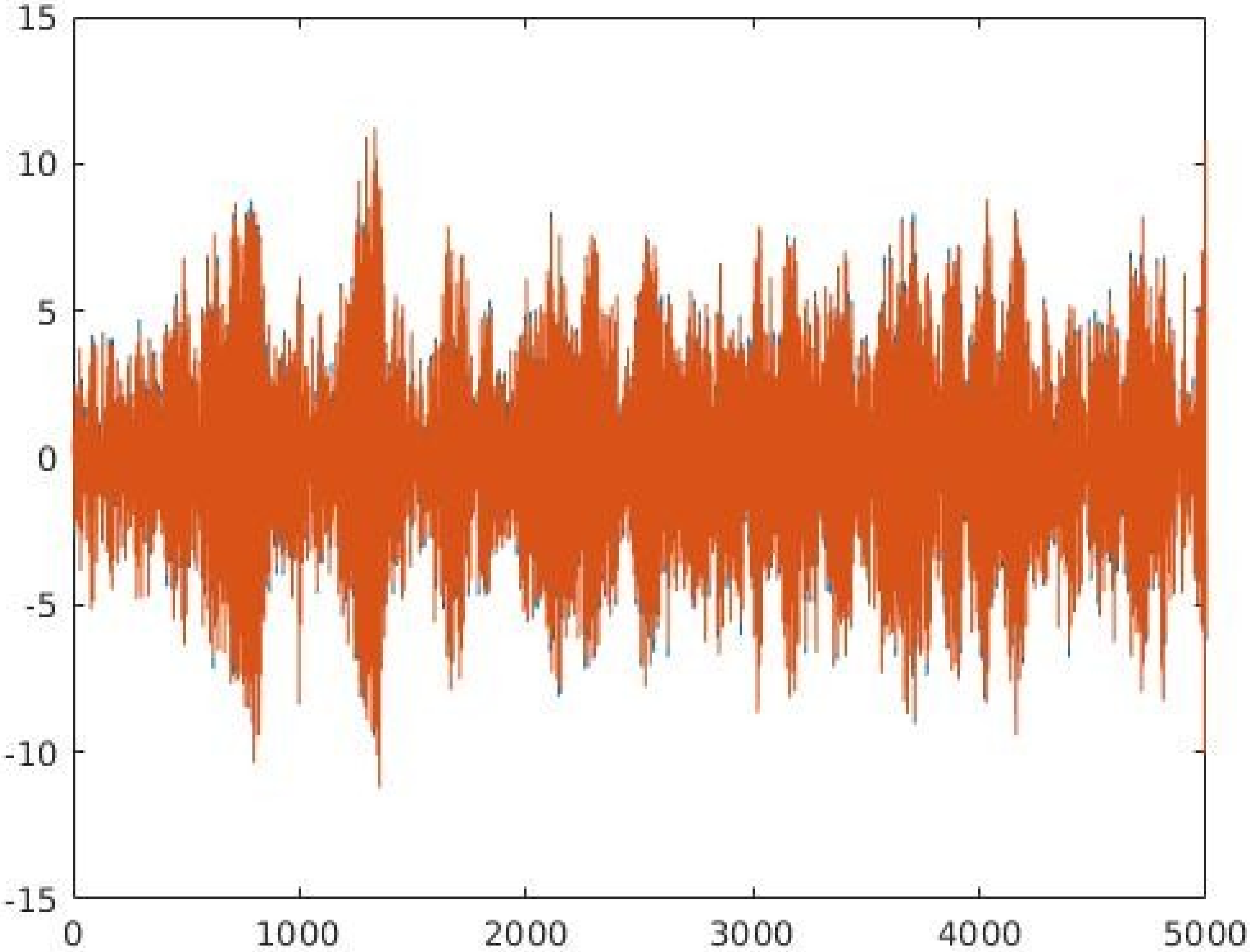
- p=5, N=2



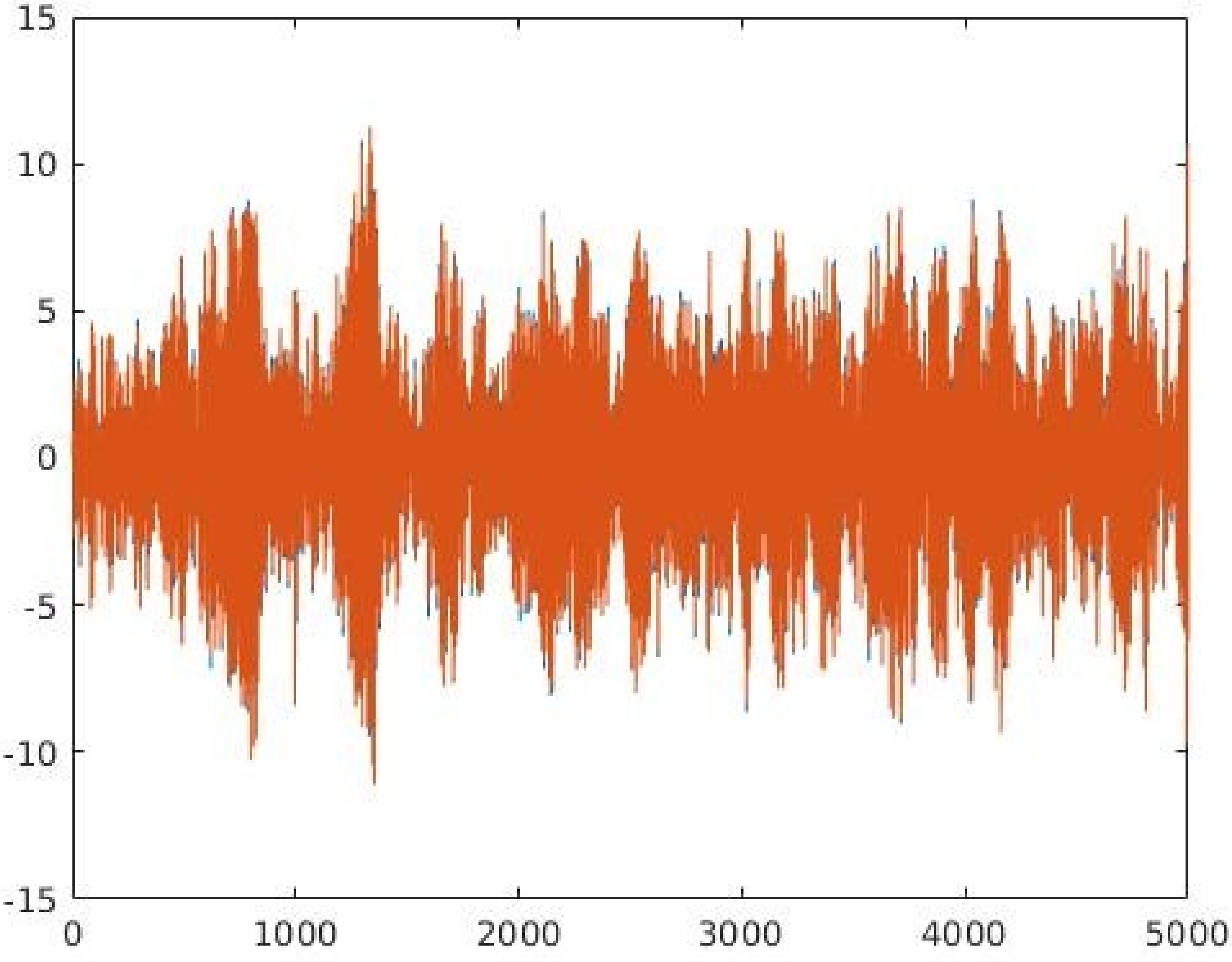
- p=10, N=2



- p=5, N=3



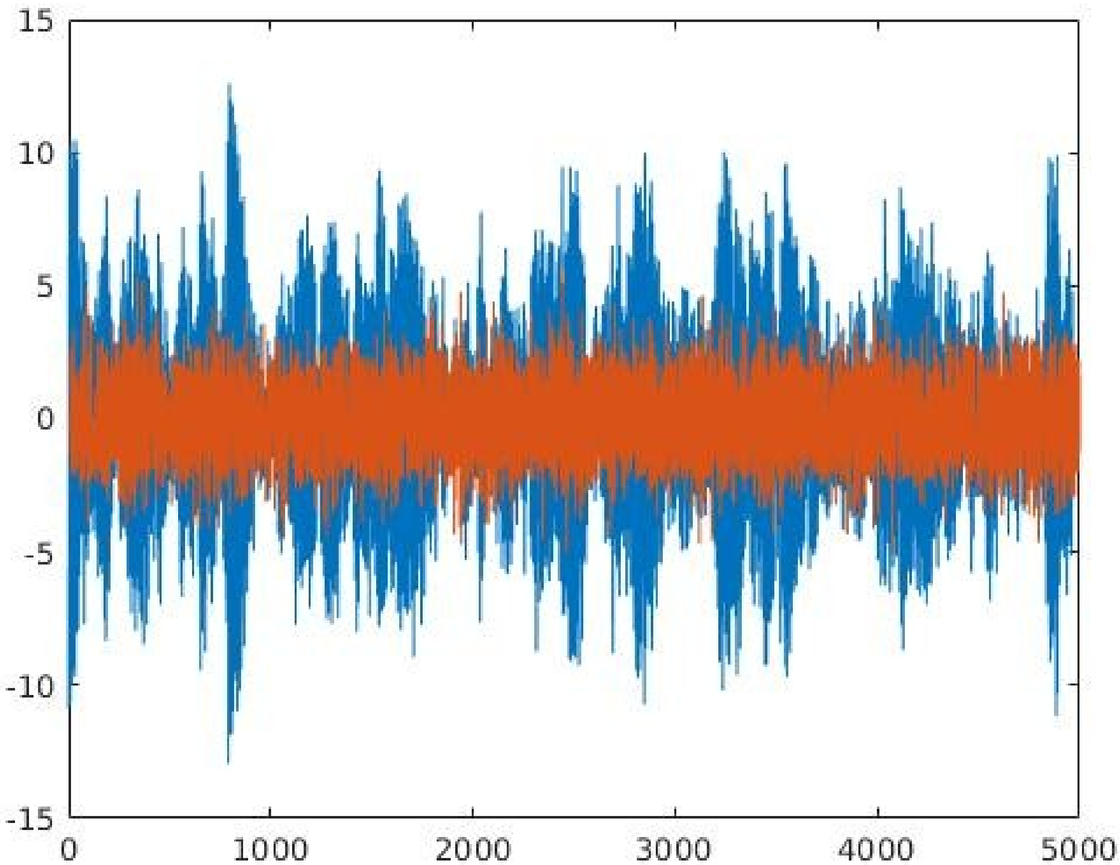
- p=10, N=3



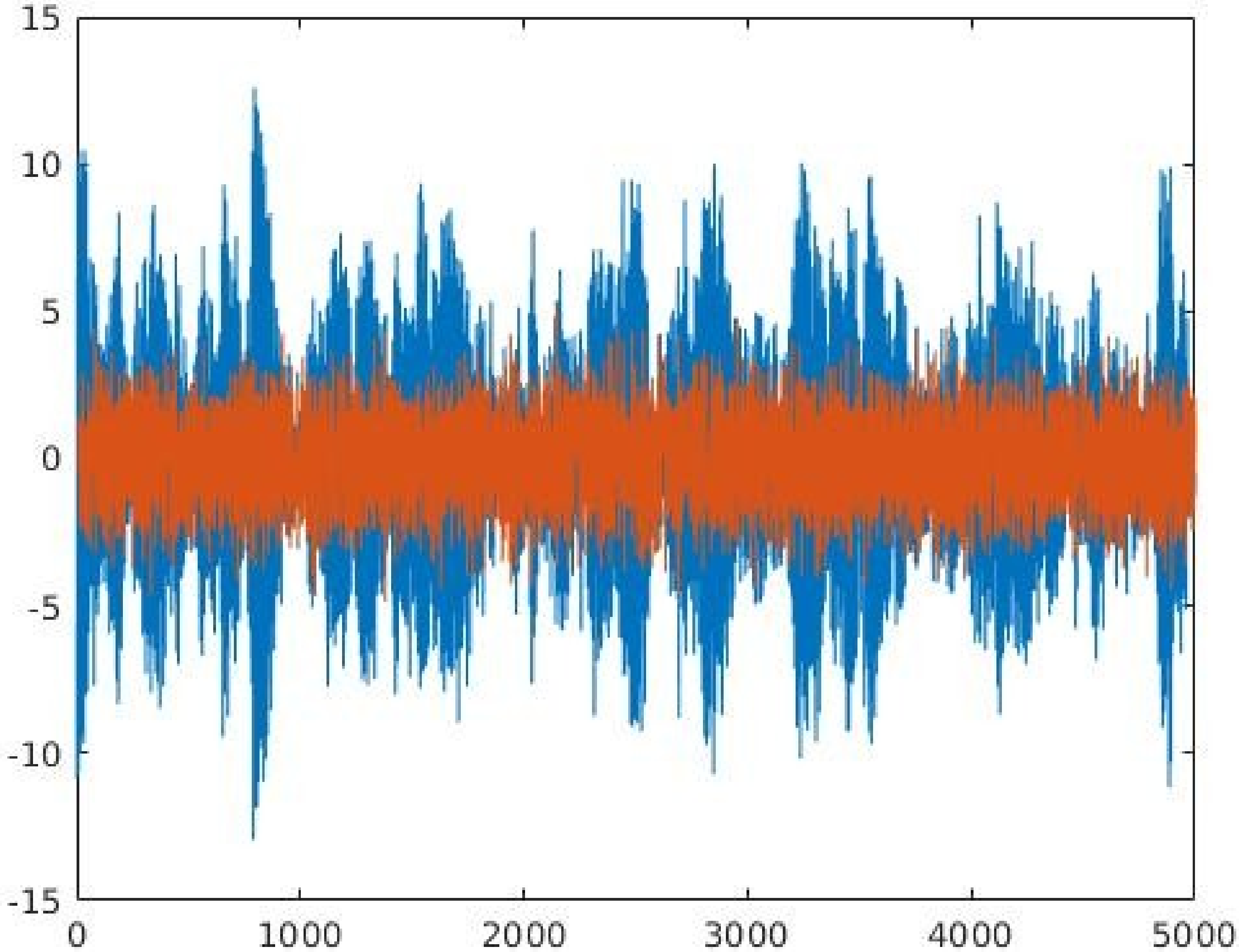
Δ) Για το δείγμα 15001:20000

2. Παρακάτω είναι τα γραφήματα για τις τιμές του p=8,10 και για τις τιμές του N=1,2,3. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το αρχικό σήμα ενώ με πορτοκαλί το σφάλμα πρόβλεψης

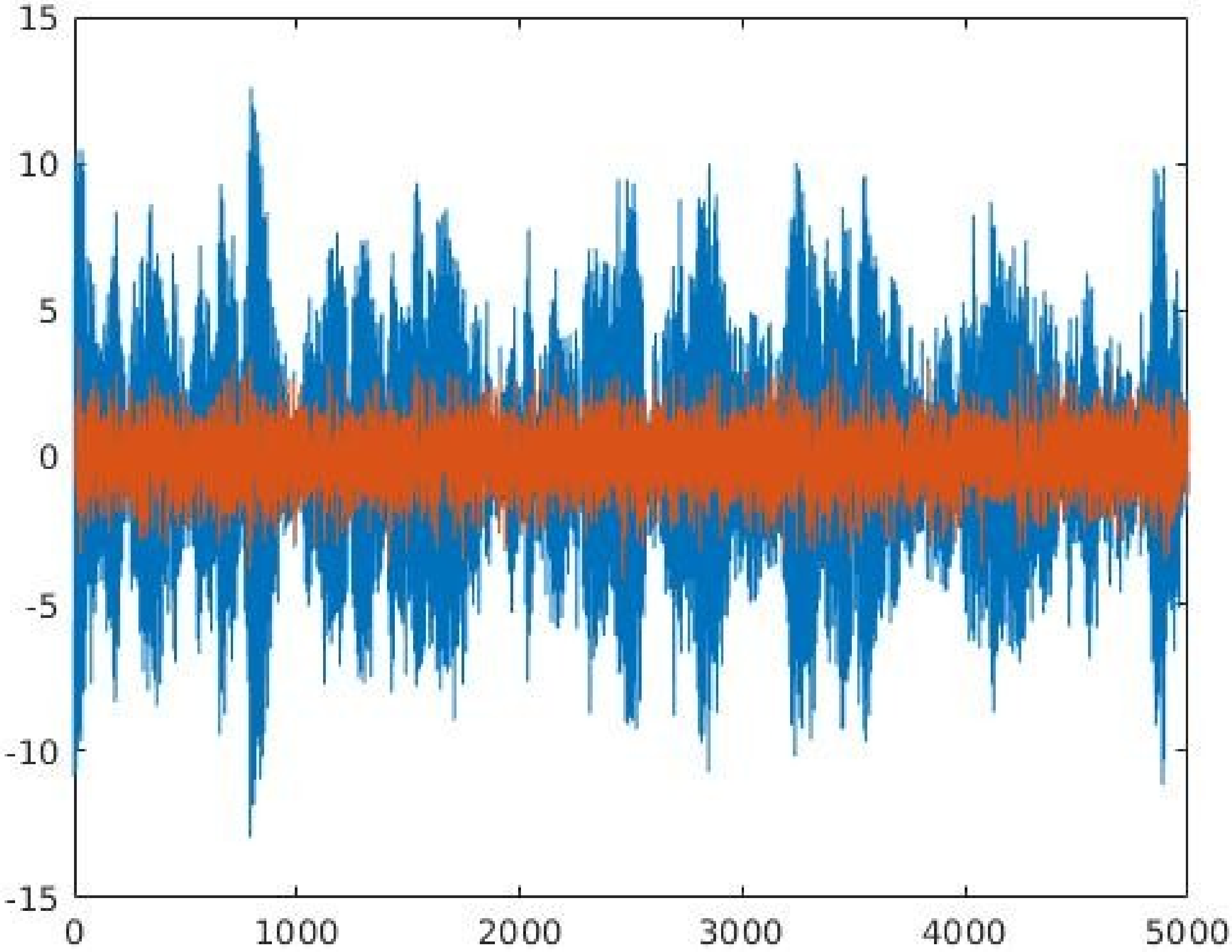
- p=8, N=1



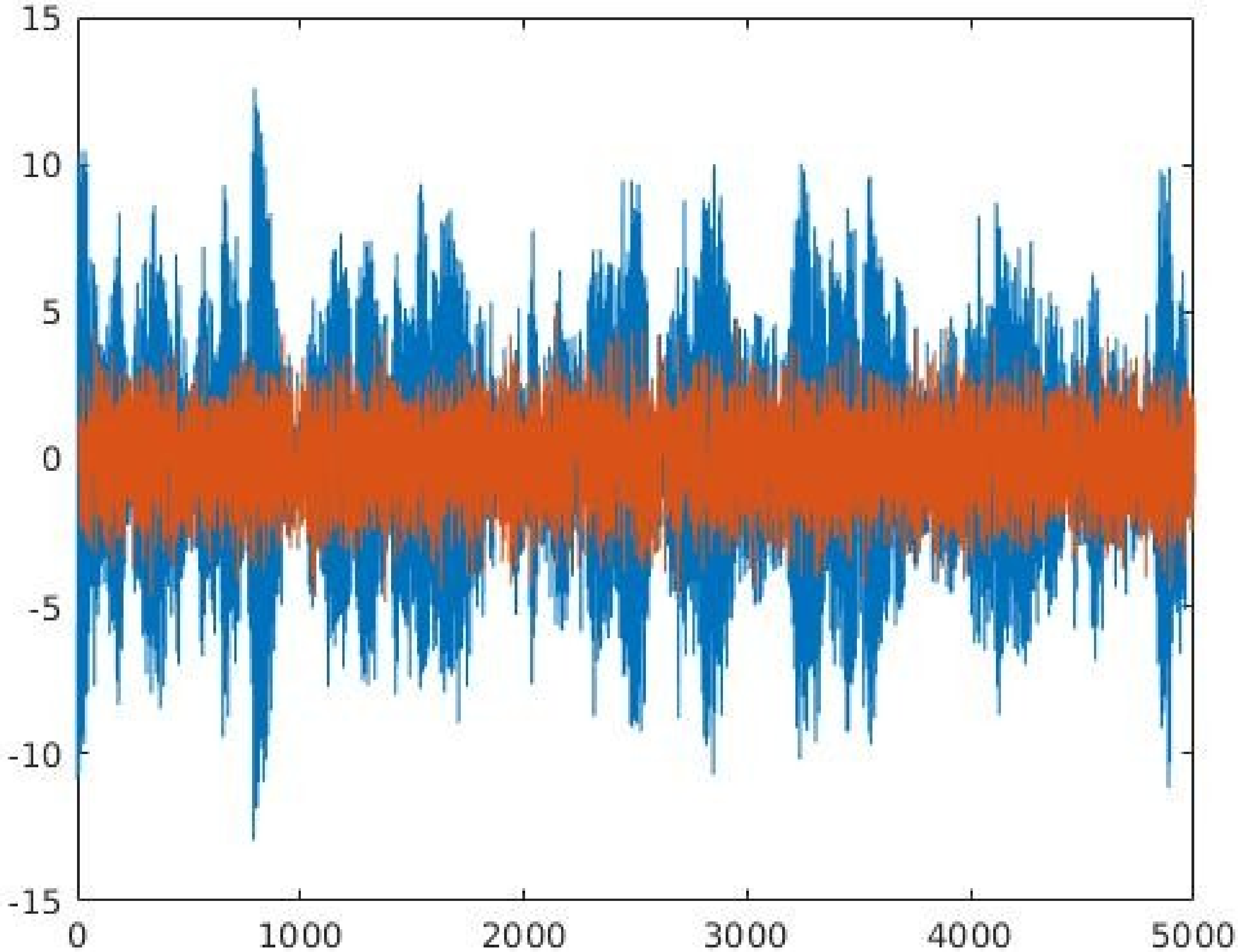
- p=10, N=1



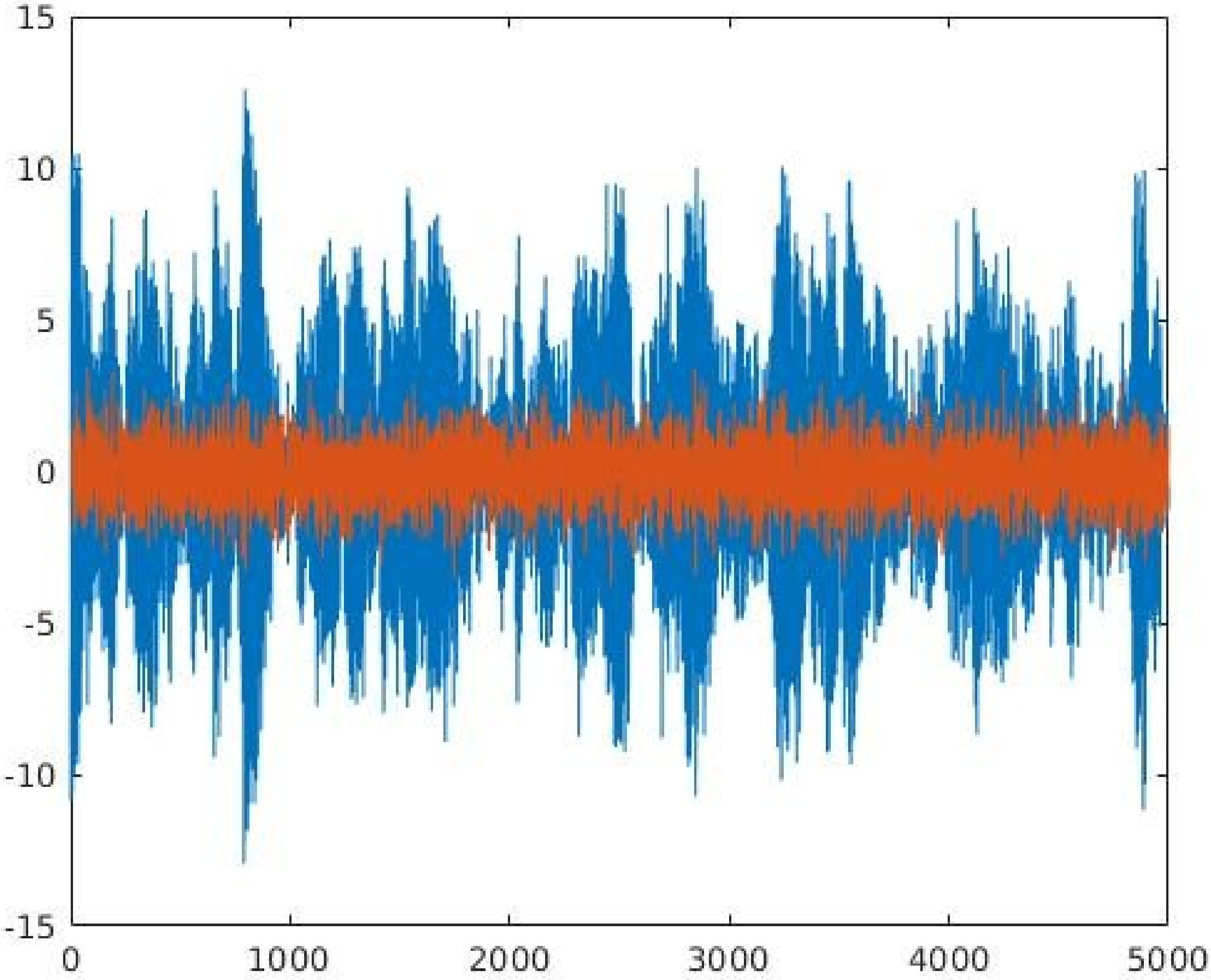
- p=8, N=2



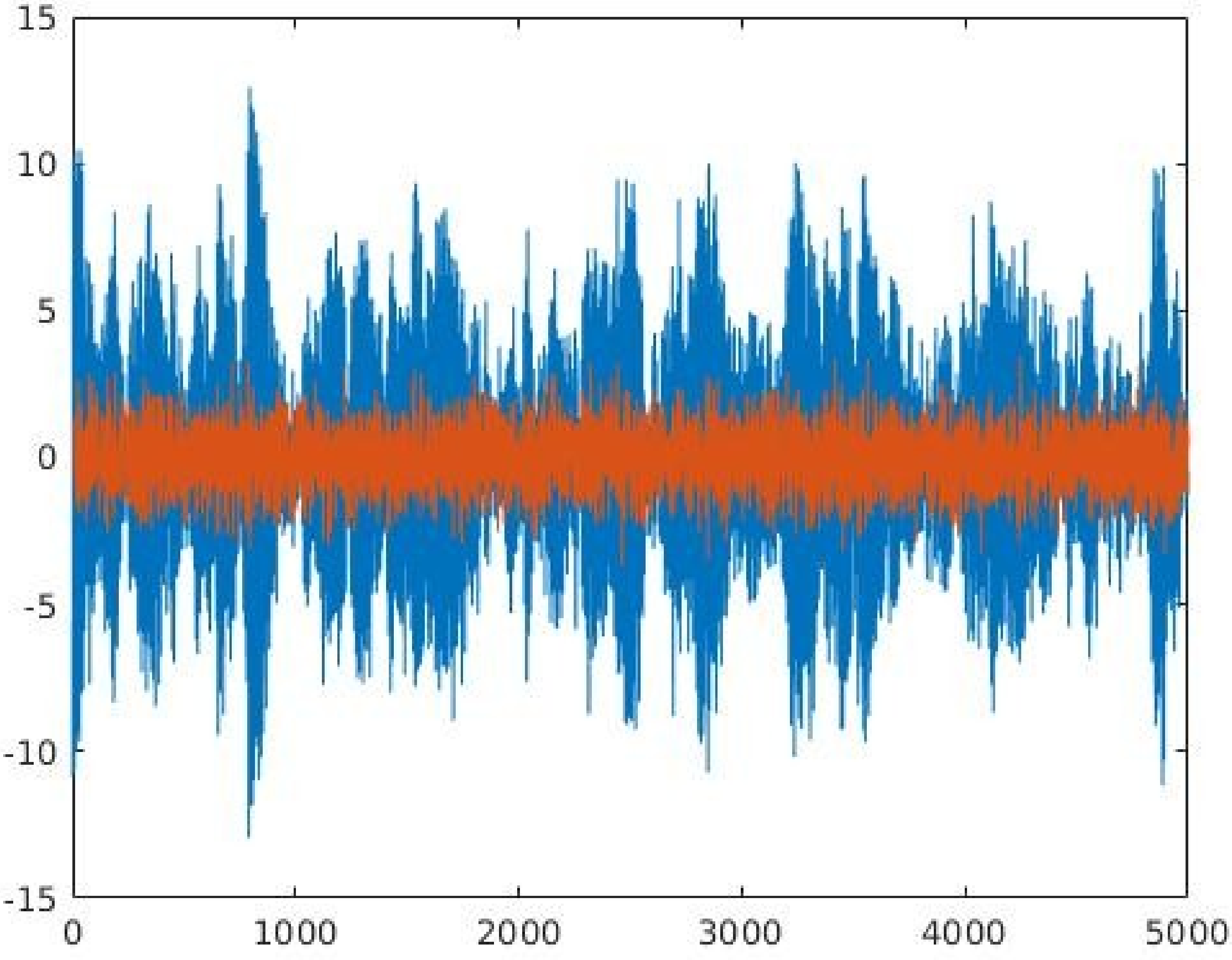
- p=10, N=2



- p=8, N=3

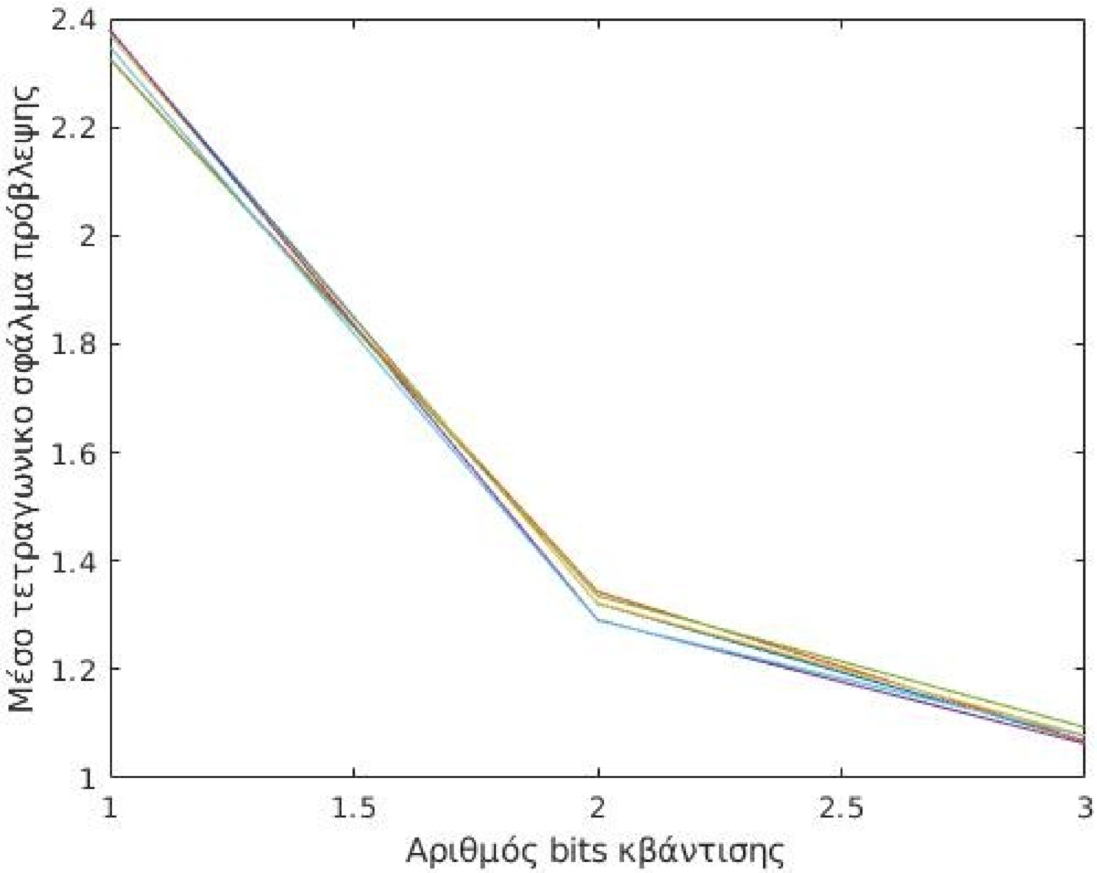


- p=10, N=3



3. Ακολουθεί το διάγραμμα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος πρόβλεψης προς τον αριθμό των bits κβάντισης N.

p=5 -----------   p=8 -----------
p=6 -----------   p=9 -----------
p=7 -----------   p=10 -----------

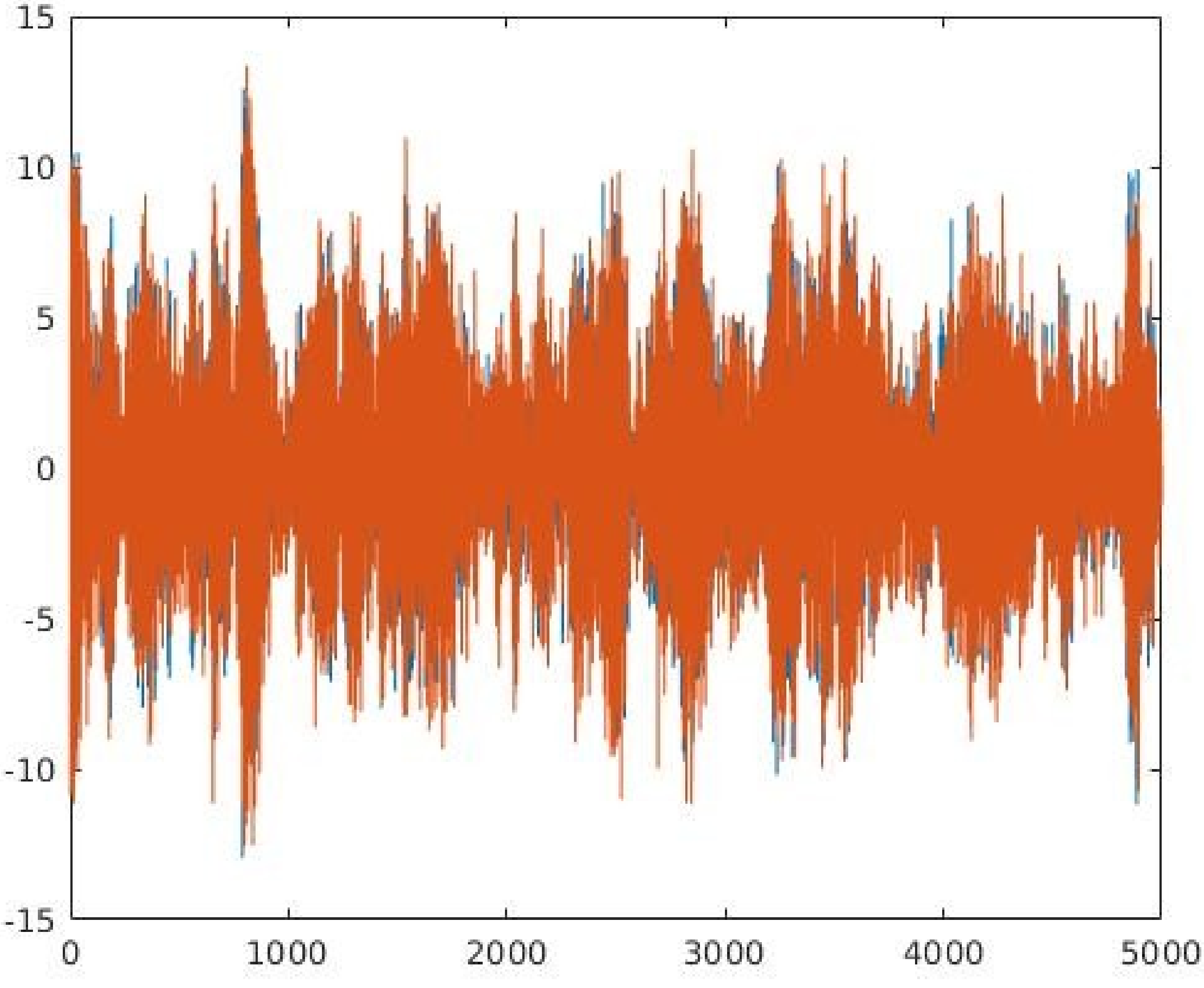


Τιμές του συντελεστή πρόβλεψης για τις τιμές του p από 5 έως 10

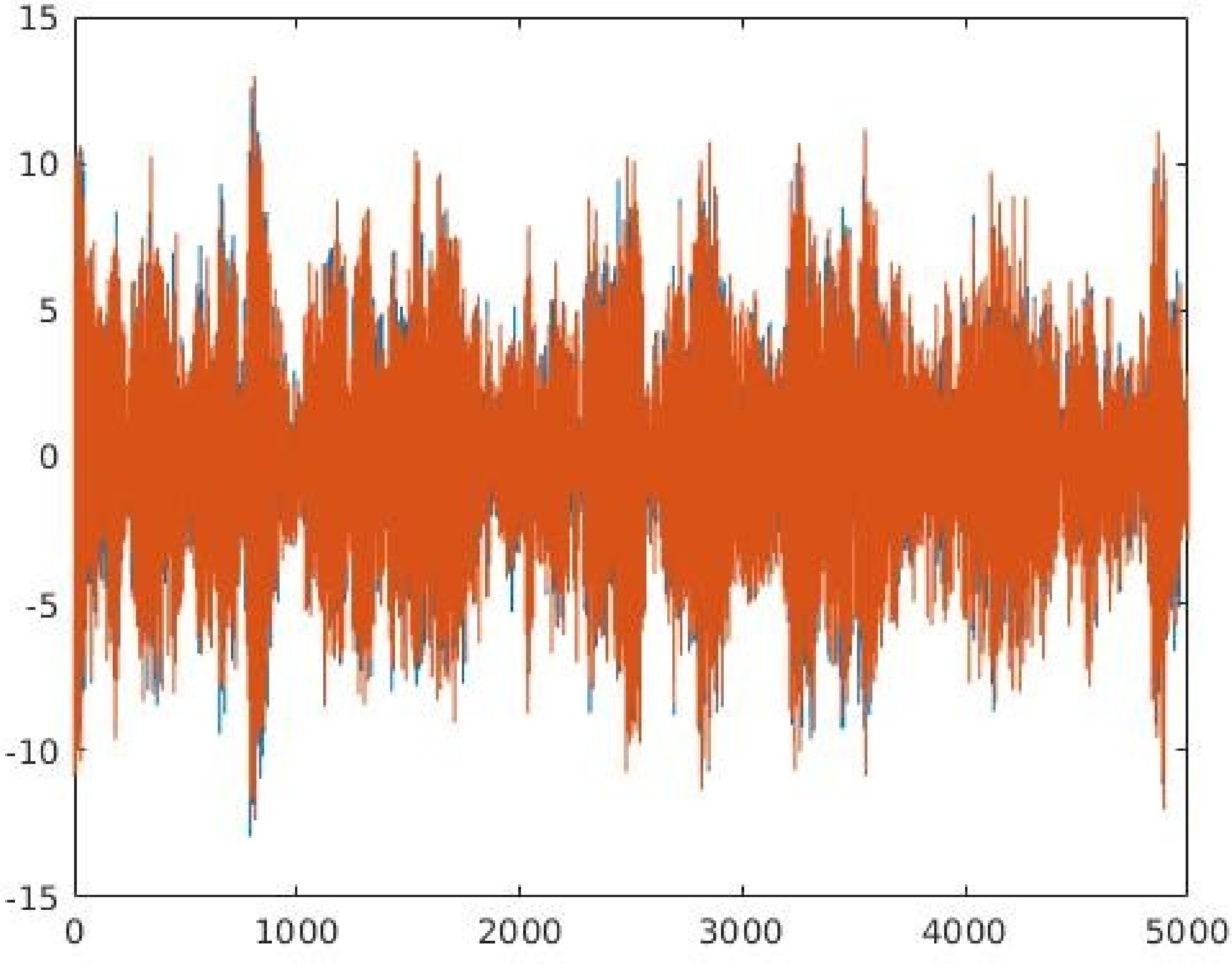
p		**a**									
5		0.5078	-0.6953	0.2422	-0.7109	-0.1172					
6		0.5078	-0.6953	0.2422	-0.7109	-0.1172	0.0078				
7		0.5078	-0.6953	0.2422	-0.7109	-0.1172	0.0078	-0.0078			
8		0.5078	-0.6953	0.2422	-0.6953	-0.1172	0.0078	-0.0078	0.0078		
9		0.5078	-0.6953	0.2422	-0.6953	-0.1328	0.0078	-0.0234	0.0234	-0.0078	
10		0.5078	-0.6953	0.2422	-0.6953	-0.1328	0.0078	-0.0234	0.0234	-0.0078	0.0078

4. Σε αυτό το ερώτημα παρατίθενται στα ίδια διαγράμματα το αρχικό και το ανακατασκευασμένο σήμα για τις τιμές του p=5,10 και για N=1,2,3. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται το αρχικό σήμα ενώ με πορτοκαλί το ανακατασκευασμένο σήμα.

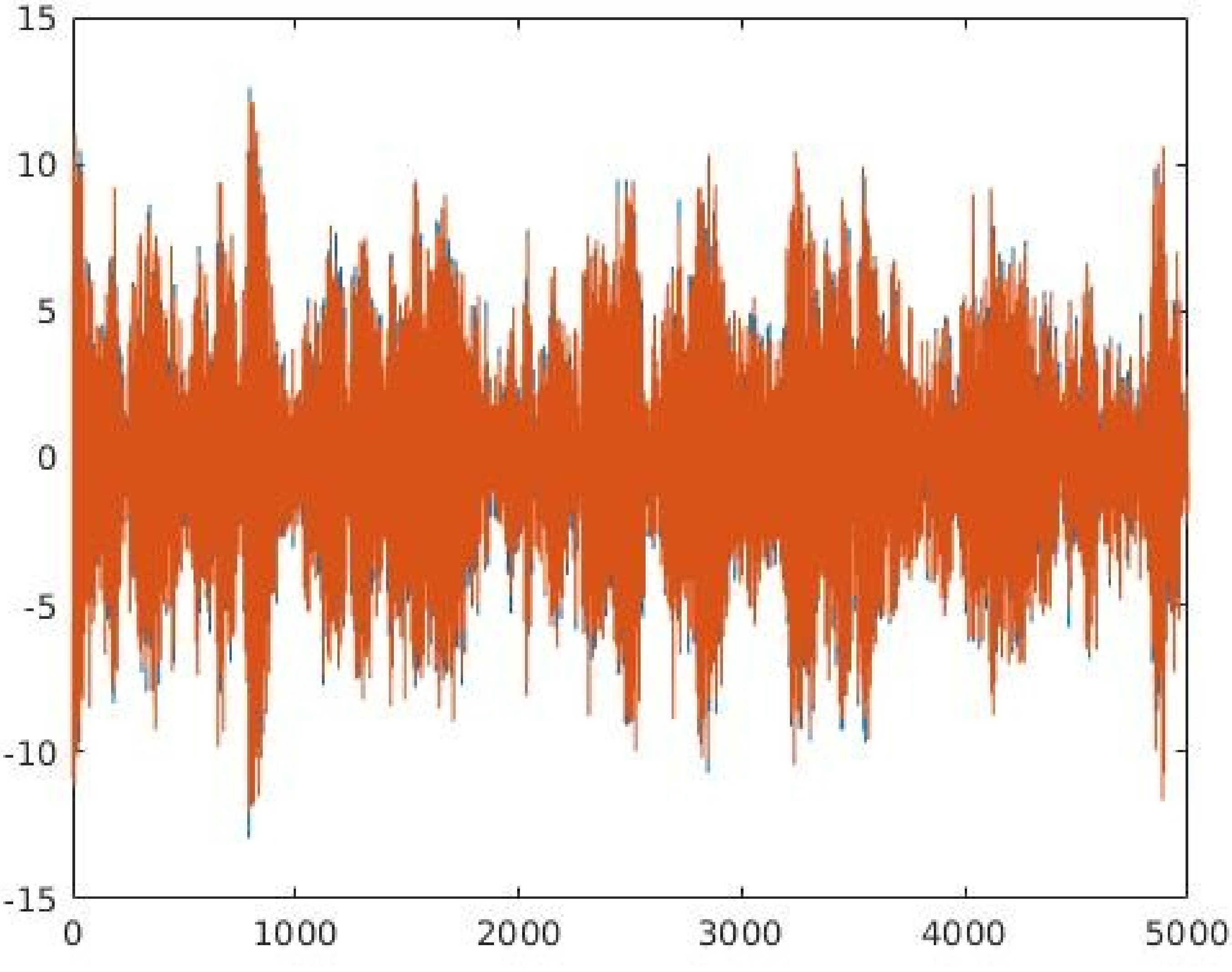
- p=5, N=1



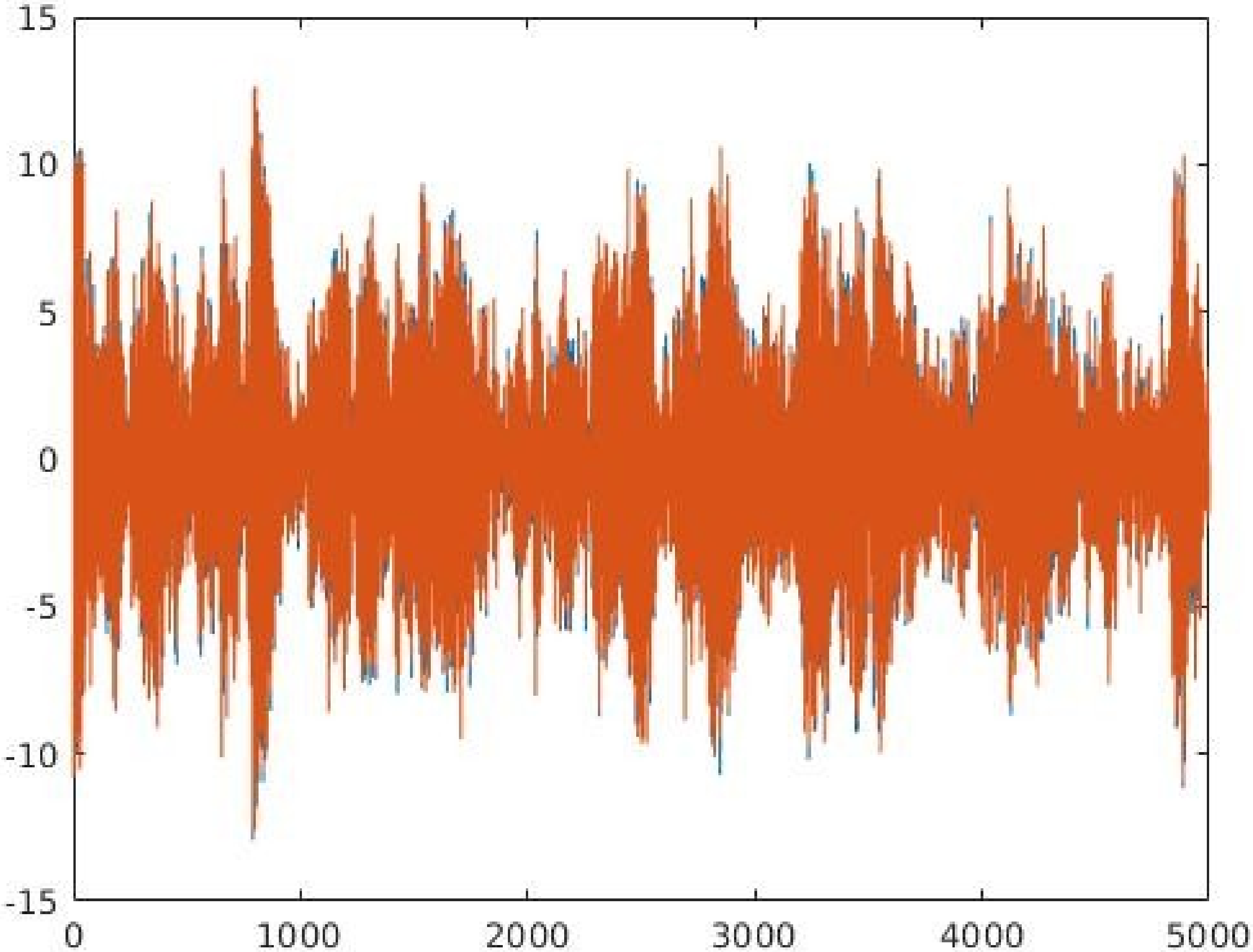
- p=10, N=1



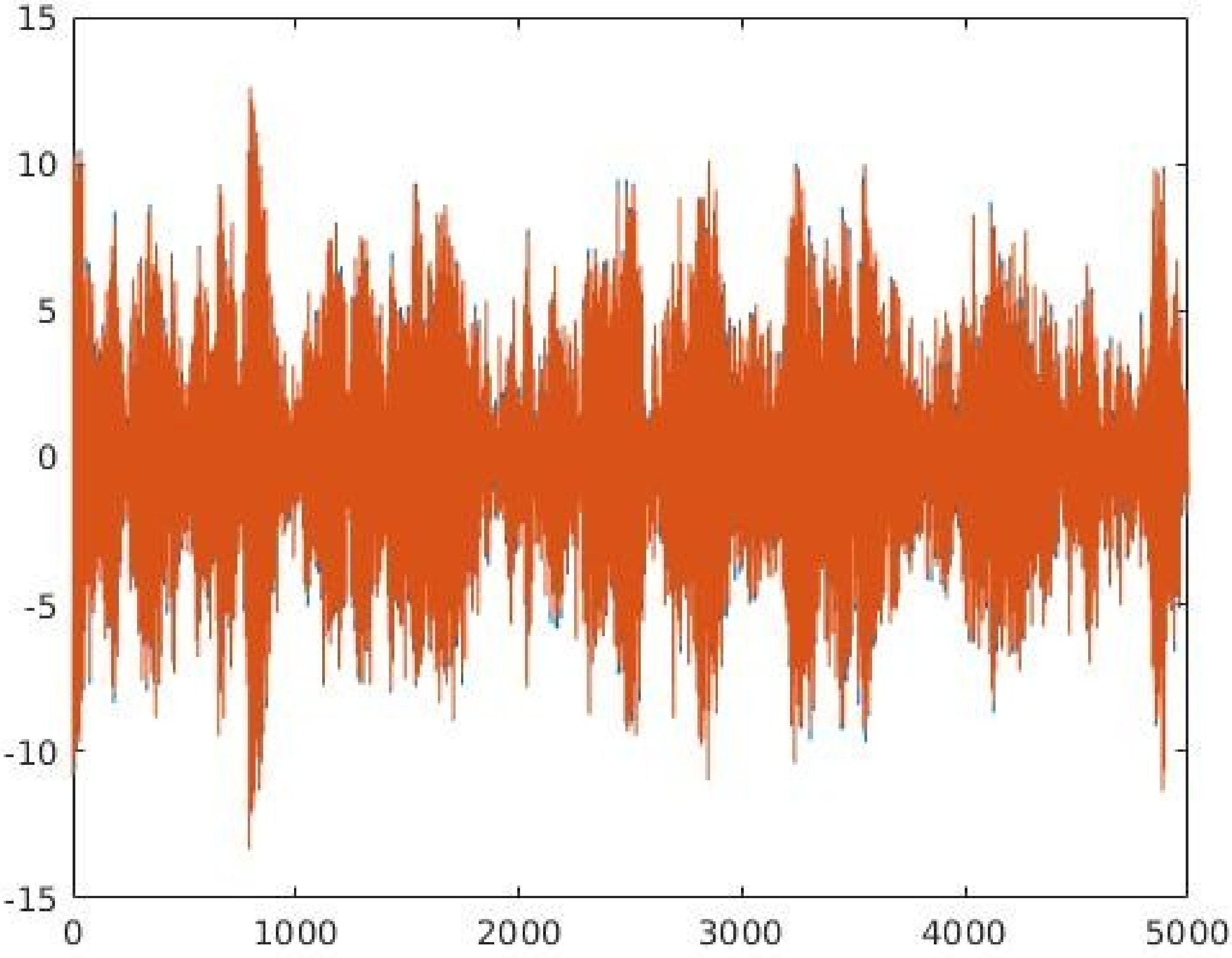
- p=5, N=2



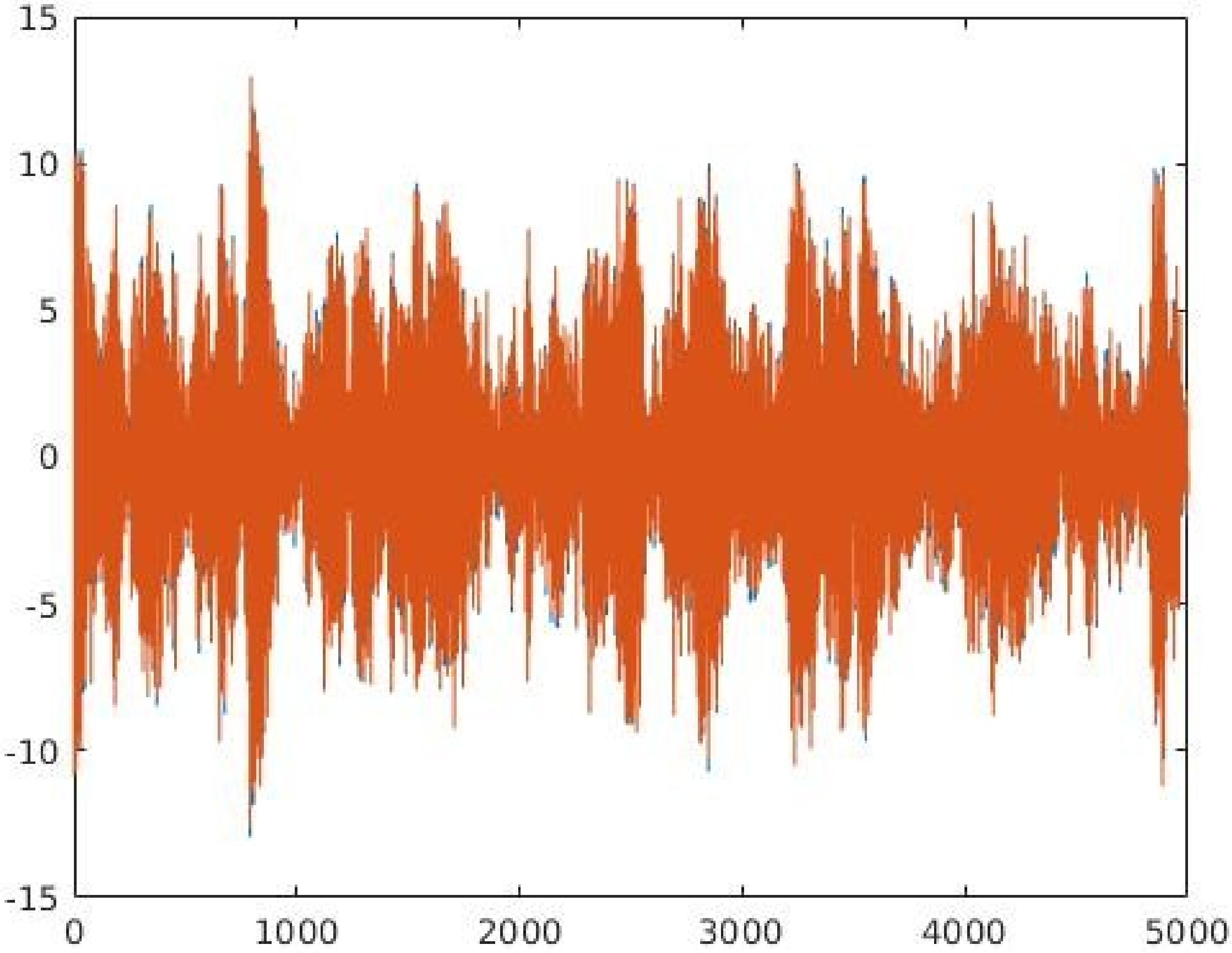
- p=10, N=2



- p=5, N=3



- p=10, N=3



Παρατηρώντας τις μετρήσεις που έγιναν για τα τέσσερα υποδείγματα συμπεραίνουμε ότι:
Για τα δύο πρώτα υποδείγματα (1-5000) και (5001-10000) υπάρχει μια φανερή βελτίωση του σφάλματος πρόβλεψης το οποίο είναι πιο μικρό σε αυτά τα δείγματα. Στο διάγραμμα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος οι γραφικές για τα διάφορα p πλεόν σχεδόν ταυτίζονται καθώς όπως φαίνεται και από τους αντίστοιχους πίνακες των συντελεστών πρόβλεψης, οι τιμές των συντελέστών για τα διάφορα p είτε είναι ίδιες, ιδιαίτερα στις πρώτες τέσσερις τιμές για το κάθε p, είτε διαφέρουν πολύ λίγο. Τα διαγράμματα του αρχικού με το ανακατασκευασμένο έχουν και αυτά μία βελτίωση.
Για τα δύο επόμενα και τελευταία υποδείγματα (10001-15000) και (150001-20000) οι διαφορές σε σχέση με το αρχικό είναι ακόμα μεγαλύτερες από ότι στα δύο προηγούμενα. Η βελτίωση του σφάλματος πρόβλεψης είναι ακόμα μεγαλύτερη πράγμα που φαίνεται έντονα στο διάγραμμα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος όπου οι τιμές των γραφικών είναι μικρότερες από το μισό των αντίστοιχων του αρχικού. Επίσης όπως και στα προηγούμενα υποδείγματα έτσι και εδώ οι γραφικές για τα διάφορα p ταυτίζονται ενώ και οι συντελεστές πρόβλεψης των διάφορων p ταυτίζονται ή διαφέρουν ελάχιστα, ιδιαίτερα στις τέσσερις πρώτες τιμές τους. Επιπλέον παρατηρείται ξανά βελτίωση των διαγραμμάτων των ανακατασκευασμένων σημάτων.

Οι διαφορές αυτές οφείλονται αρχικά στο ότι τα υποδείγματα είναι αρκετά μικρότερα από το αρχικό οπότε η προβλεψιμότητα τους είναι πιο ικανοποιητική, άρα με τη στατιστική έννοια το σφάλμα πρόβλεψης τους ήταν αναμενόμενο να είναι πιο μικρό. Επίσης παρατηρώντας το σχήμα του αρχικού σήματος φαίνεται ότι το πρώτο μισό του έχει κατά μέσο όρο μεγαλύτερες τιμές από το δεύτερο μισό, που εξηγεί γιατί όταν εξετάστηκαν τα δύο υποδείγματα με τιμές στο δεύτερο μισό του αρχικού υπήρξε μια μεγάλη βελτίωση σε σχέση με το αρχικό αλλά και με τα υποδείγματα του πρώτου μισού. Είναι λογικό αφού οι τιμές του δεύτερου μισού είναι μικρότερες να είναι και το σφάλμα προβλεψής τους μικρότερο σε σχέση με το συνολικό ή με τα δύο πρώτα υποδείγματα.

Ο κώδικας που δημιουργήθηκε για την εκτέλεση του πρώτου μέρους είναι ο παρακάτω:

```
%% A ΜΕΡΟΣ
% Μελετη αποδοσης Ομοδυνου Ζωνοπερατου Συστηματος M-PAM
%
%% ΕΙΣΟΔΟΣ
% Αριθμος bit εισοδου
n=1e5;
% τυχαια δυαδικη ακολουθια μηκους n
% με χρηση της συναρτησης rand
bin_seq = round(rand(1,n));
%
%% MAPPER
% μετατροπη των bits του bin_seq σε log2(M)-bit συμβολα
%
for M=[2 8]
% καθε k=log2(M) bit αντιστοιχουν σε ενα συμβολο
k=log2(M);
% Στην περιπτωση του M=8 μπορει το μηκος της δυαδικης ακολουθιας να μην
% διαιρειται ακριβως με το log2(m) δηλαδη το 3 οποτε τοτε θα συμπληρωσουμε
% στην αρχη της ακολουθιας μηδενικα ωστε να γινεται η διαιρεση και να μην
% αλλαζει η αρχικη ακολουθια
md=mod(n,k);
if md>0
    if mod(n+1,log2(M))~=0
        c=n+2;
    elseif mod(n+2,log2(M))~=0
        c=n+1;
    end
        for z=1:c
            if z>n
                bin_seq2(z)=0;
            else
            bin_seq2(z)=bin_seq(z);
            end
        end
elseif md==0
        bin_seq2=bin_seq;
end
lng=length(bin_seq2);
% χρηση της reshape ωστε σε καθε γραμμη να υπαρχουν k=log2(M) bits
bin_seq1=reshape(bin_seq2,k,lng/k)';
% μετατροπη καθε γραμμης(log2(M) bit) σε εναν ακεραιο
```

```
dec_seq=bi2de(bin_seq1,'left-msb');
% χρηση κωδικοποιησης gray οταν η μεταβλητη gray εχει τιμη 1
gray=0;
if gray==1
   gray_enc=bin2gray(dec_seq,'pam',M);
   sm=gray_enc;
else sm=dec_seq;
end
%
%% MODULATOR
% Διαμορφωση
%
% Σύμφωνα με τους τυπους του βιβλιου τα A θα πάρουν τις παρακατω τιμες
if M==2
   A=1;
elseif M==8
   A=1/sqrt(21);
end
% παιρνουμε 4 δειγματα ανα περιοδο φερουσας
% καθε περιοδος συμβολου περιλαμβανει 10 κυκλους
% φερουσας δηλαδη 40 δειγματα οποτε η περιοδος
% συμβολου θα ειναι
Tsym=40;
Tc=4;
fc=1/Tc;
% ορθογωνιος παλμος gt ο οποιος εχει σταθερη
% τιμη για την περιοδο που θα εξετασουμε
gt=sqrt(2/Tsym);
sm=reshape(sm,1,lng/k);
% τα συμβολα  θα ειναι M οποτε θα αντιστοιχισουμε
% καθε ακεραιο με ενα πλατος ωστε να εχει μια θεση στο χωρο
% επειτα θα γινει πολλαπλασιασμος του καθε
% πλατους με τον ορθογωνιο παλμο gt
% και με το συνημιτονο
n=length(sm);
for i=1:n
   for l=1:M
      if sm(i)==(l-1);
         m=l;
         % ορισμος του Am=(2m − (M + 1))A, m = 1, . . . , M
         Am(i)=((2*m)-(M+1))*A;
            for t=1:41
               s(t,i)=Am(i)*gt*cos(2*pi*fc*(t-1));
            end
      end
```

```
    end
end
%
%% AWGN
% προσθηκη θορυβου
%
% ενεργεια ανα συμβολο
Es=1;
% ενεργεια ανα bit
Eb=Es/log2(M);
% το SNR μας δινεται στο ερωτημα
for SNR=0:2:20
% διασπορα θορυβου
sigma2=Eb/(2*(10^(SNR/10)));
% θορυβος
noise=sqrt(sigma2)*randn((lng/log2(M))*41,1);
noise_1=reshape(noise,41,[]);
rt= s + noise_1;
%
%% DEMODULATOR
% Αποδιαμορφωση του σηματος
%
Tsym=40;
Tc=4;
fc=1/Tc; %--DOKIMH---
% ορθογωνιος παλμος gt ο οποιος εχει σταθερη
% τιμη για την περιοδο που θα εξετασουμε
gt=sqrt(2/Tsym);
% Πολλαπλασιασμος ορθογωνιου παλμου με φερουσα
    for t=1:41
        p(t)=gt*cos(2*pi*fc*(t-1));
    end
% Συσχετισμος σηματος με το γινομενο παλμου-φερουσας
r=p*rt;
%
%% ΦΩΡΑΤΗΣ
% Προβλεψη συμβολου
%
% Υπολογισμος των συμβολων δηλαδη του Am
for m=1:M
    Am2(m)=((2*m)-(M+1))*A;
end
% για το σημα που προεκυψε απο τον demodulator γινεται ελεγχος καθε φορα
% απο ποιο Am θα εχει την μικροτερη αποσταση
for j=1:length(r)
```

```
    % Βαζουμε για αρχικοποιηση της ελαχιστης τιμης για την ελαχιστη αποσταση
    %μια πολυ μεγαλη τιμη ωστε να γινει παρακατω σωστα η συγκριση
    apostash_min = 1e100;
    for a=0:M-1
        % υπολογισμος ευκλειδιας αποστασης του διανυσματος απο τα συμβολα
        % ωστε το συμβολο Am απο το οποιο θα εχει την μικροτερη αποσταση θα
        % ειναι το Am που του αντιστοιχει και το m που αντιστοιχει σε
        % αυτο το συμβολο Am θα ειναι η αντιστοιχη αρχικη εισοδος
        apostash(a+1) = sqrt((r(j)-Am2(a+1))^2);
        if (apostash(a+1) < apostash_min)
            apostash_min = apostash(a+1);
            sm_1=a;
        end
    end
    sm_out(j)=sm_1;
end
%
%% Demapper
% Εαν το k ειναι 1 δηλαδη το M=2 τοτε η εξοδος sm2 θα ειναι και η τελικη
% μας εξοδος αντιθετα για M=8 χρειαζεται να κανουμε αποκωδικοποιηση απο gray
% και μετατροπη των  δεκαδικων σε bit ωστε να εχουμε την προβλεψη της αρχικης
% ακολουθιας
if k==1
    bin_out=sm_out;
elseif k>1
    if gray==1
    % αποκωδικοποιηση απο κωδικοποιηση gray
    bin_out=gray2bin(sm_out,'pam',8);
    bin_out=de2bi(bin_out,'left-msb');
    bin_out = bin_out.';
    bin_out = bin_out(:).';
    elseif gray==0
    % μετατροπη απο ακεραιους σε δυαδικο
    bin_out=de2bi(sm_out,'left-msb');
    bin_out = bin_out.';
    bin_out = bin_out(:).';
    end
end
% Αφαιρεση των μηδενικων που προστεθηκαν
if md>0
    zer=lng-length(bin_seq);
    bin_out((lng-zer)+1:lng)=[];
end
%
%% Υπολογισμος BER και SER
```

```
%
ber=0;
ser=0;
for q=1:length(bin_seq)
    if bin_seq(q)==~bin_out(q)
        ber=ber+1;
    end
end
for v=1:length(sm)
    if sm(v)==sm_out(v)
        ser=ser+1;
    end
end
BER=ber/length(bin_seq);
SER=(length(sm)-ser)/length(sm);
fprintf('Για M=%d', M);
if gray==1
    fprintf(' με χρήση κωδικοποίησης gray');
end
fprintf(' και SNR=%d το BER είναι:%d\n αντίστοιχα το SER είναι:%d\n\n', SNR,
BER, SER);
%
end
s=0;
sm_out=0;
end
```

Ο κώδικας που δημιουργήθηκε για την εκτέλεση του δεύτερου μέρους είναι ο παρακάτω:

Κβαντιστής

```
% Ομοιομορφος Κβαντιστης
%
% Συναρτηση κβαντιστη
function y1 = my_quantizer(y, N, min_value, max_value)
% Αρχικοποιηση της y1
for v=1:length(y)
    y1(v)=0;
end
% Αριθμος επιπεδων κβαντισης
```

```
L=2^N;
% Βημα κβαντισης
D=2*(max_value/L);
% Κεντρα της καθε περιοχης
for i=1:L
    centers(i)= max_value-(i-1)*D-D/2;
end
% Υπολογισμος περιοχης που ανηκει καθε δειγμα εισοδου
%
lng=length(y);
for k=1:lng
    b=max_value-D;
    s=min_value+D;
    if y(k)>=b
       y1(k)=1;
    elseif y(k)<s
       y1(k)= L;
    elseif y(k)<b && y(k)>=0
        d=1;
        for j=0:((2^N)/2)-1 % τοσες επαναληψεις χρειαζεται για να
                                       % υπολογισει σωστα το κεντρο της περιοχης
            if y(k)<b-j*D
                d=d+1;
                y1(k)=d;
            end
        end
     elseif y(k)<0 && y(k)>=s
         d=L;
        for j=0:((2^N)/2)-1
            if y(k)>=s+j*D
                d=d-1;
                y1(k)=d;
            end
        end
    end
%
% Κβαντισμενο δειγμα
y1(k)=centers(y1(k));
end
%
end
%
```

Υλοποίηση του DPCM

```
% Κωδικοποιηση Διακριτης Πηγης με τη μεθοδο DPCM
%
%% Εισοδος
% δινονται τα δεδομενα εισοδου
%
load source.mat;
x=t(1:20000);
%
%% Υπολογισμος συντελεστη φιλτρου προβλεψης
%
% Αριθμος προηγουμενων τιμων στη μνημη
p=8;
% Bits κβαντισης
N=1;
%
% Μεγεθος εισοδου
lgth=length(x);
%
% Διανυσμα αυτοσυσχετισης
for i=1:p
    r1=0;
    for n=p+1:lgth
        r1=r1+x(n)*x(n-i);
    end
    r(i)=(1/(lgth-p))*r1;
end
%
% Πινακας αυτοσυσχετισης
for i=1:p
    for j=1:p
        R1=0;
        for n=p:lgth
            R1=R1+x(n-j+1)*x(n-i+1);
        end
        R(i,j)=(1/(lgth-p+1))*R1;
    end
end
% Συντελεστης φιλτρου προβλεψης
a=r*(R^(-1));
% Κβαντιση του a
a_quant = my_quantizer(a, 8, -2, 2);
%
%% Υπολογισμος φιλτρου προβλεψης
```

```
%
% Αρχικο δειγμα χωρις κβαντιση και ανακατασκευη
y_re(1:p)=x(1:p);
% Αποθηκευση του αρχικου δειγματος στην μνημη για χρηση στον
% υπολογισμο της προβλεψης
for f=1:lgth
   memor(f)=0;
end
memor(1:p)=x(1:p);
% Τα 8 πρωτα δειγματα δεν θα ανακατασκευαστουν
min=p+1;
y_perr2=0;
for k=min:lgth
   % Αρχικο δειγμα
   y_pred1=0;
   for i=1:p
      ki=k-i;
      y_pred1=y_pred1 + a_quant(i)*memor(ki);
   end
% Προβλεψη σηματος
y_pred(k)=y_pred1;
% Σφαλμα προβλεψης
y_perr(k)=x(k)-y_pred(k);
% Κβαντισμενο σφαλμα προβλεψης
y_qerr(k)=my_quantizer(y_perr(k), N, -3.5, 3.5);
%
%% Ανακατασκευασμενο σημα
%
y_re(k)=y_qerr(k)+ y_pred(k);
% Ενημερωση της μνημης με την τιμη του ανακατασκευασμενου σηματος
memor(k)=y_re(k);
y_perr2=y_perr2 + y_perr(k)^2;
end
% Υπολογισμος μεσου τετραγωνικου σφαλματος
E=y_perr2/length(x
figure
plot(x)
hold on
plot(y_pred)
hold off
%
```