

כיוול משדר תקשורת דרך לוויין

Onboard I/Q Modem calibration

מנחים: ד"ר אריה רייכמן ממרכז אקדמי רופין
מר אמיר שלום מחברת NovelSat
מר יניב ירדני מחברת NovelSat

מבצעים: שרון לוי
צחי שושן

מטרות הפרויקט

- ביצוע הכיוול ללא שימוש בציוד חיצוני (Onboard).
- הקטנת זמן הכיוול.
- כיוול תדר העבודה בלבד.
- פיתוח אלגוריתם יעיל לביצוע הכיוול.

פיתוח ביטוי מתמטי של התוצאה המתקבלת
תחילה נגדיר את האותות הנכנסים ל I/Q modulator

$$I(t) = A \sin(\omega_{BB}t + \varphi) + B \quad Q(t) = \pm A(1 + \varepsilon) \cos(\omega_{BB}t)$$

תדר אות המידע

לאחר מכן האותות נכנסים ומוכפלים כל אחד במתנד מקומי

$$LO_I(t) = \cos(\omega_c t) \quad LO_Q(t) = \sin(\omega_c t)$$

תדר גל הנושא

כתוצאה מתקבל

$$R_F(t) = A \sin(\omega_{BB}t + \varphi) \cos(\omega_c t) + B \cos(\omega_c t) \pm A(1 + \varepsilon) \cos(\omega_{BB}t) \sin(\omega_c t)$$

לאחר שימוש בזהויות טריגונומטריות

$$R_F(t) = A \sin((\omega_c \pm \omega_{BB})t) + B \cos(\omega_c t) + \frac{1}{2} A(\varphi + \varepsilon) \sin((\omega_c \mp \omega_{BB})t)$$



סימולציית MATLAB

שלבי הסימולציה

- שידור אות סינוסי

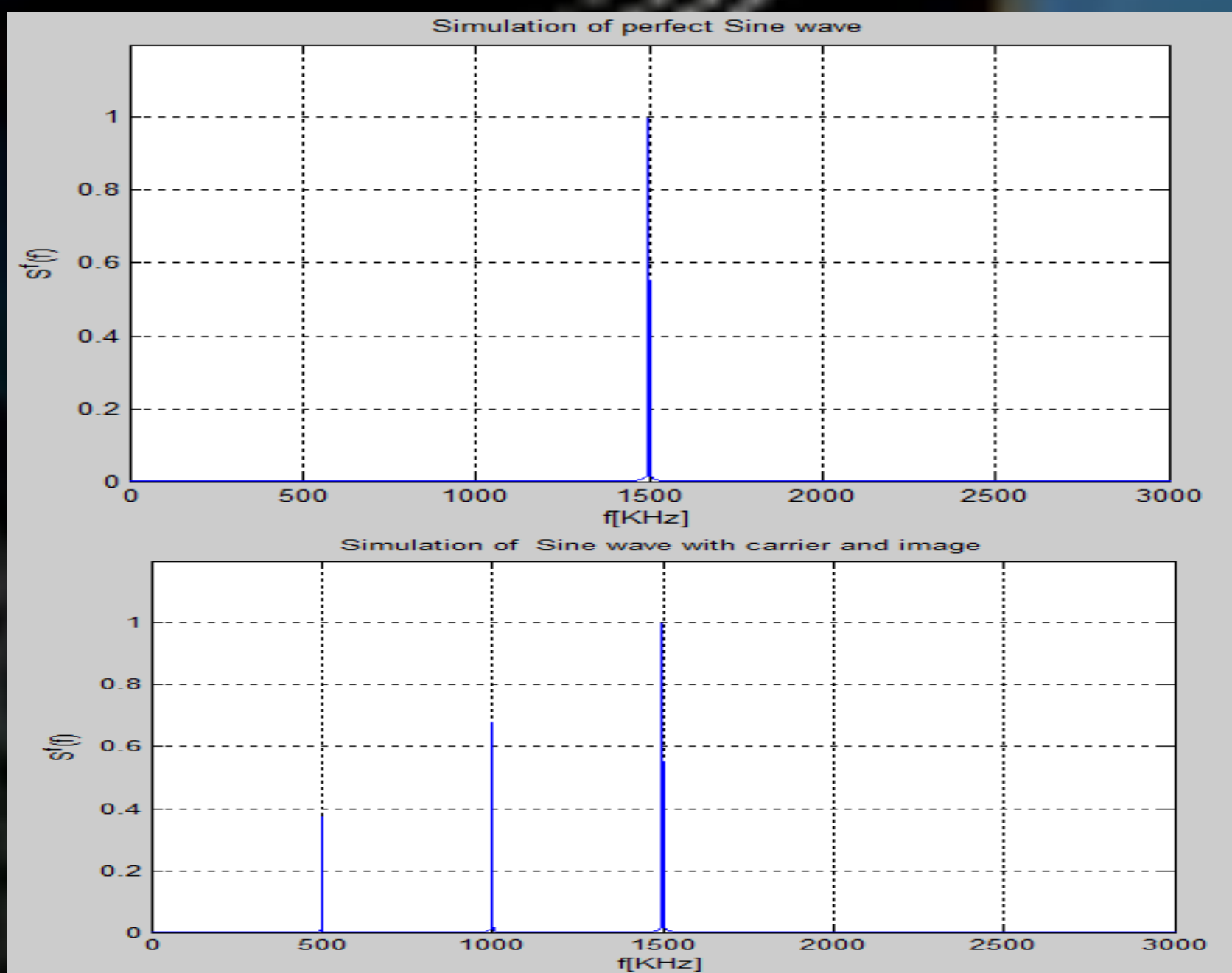
• שידור אות סינוסי עם הפרשי מופע ואמפליטודה

• שידור אות סינוסי עם רמת ה DC

• שידור אות סינוסי עם רמת ה DC, הפרשי מופע ואמפליטודה

• תוצאות הסימולציה

- בחלק הראשון של הניסוי קיבלנו כצפוי, הלם בתחום התדר
- בחלק השני והשלישי של הניסוי קיבלנו שני הלמים בתחום התדר, כתוצאה מהפרשי האמפליטודה והמופע או כתוצאה משינוי ברמת ה DC
- בחלק האחרון של הניסוי קיבלנו שלושה הלמים בתחום התדר

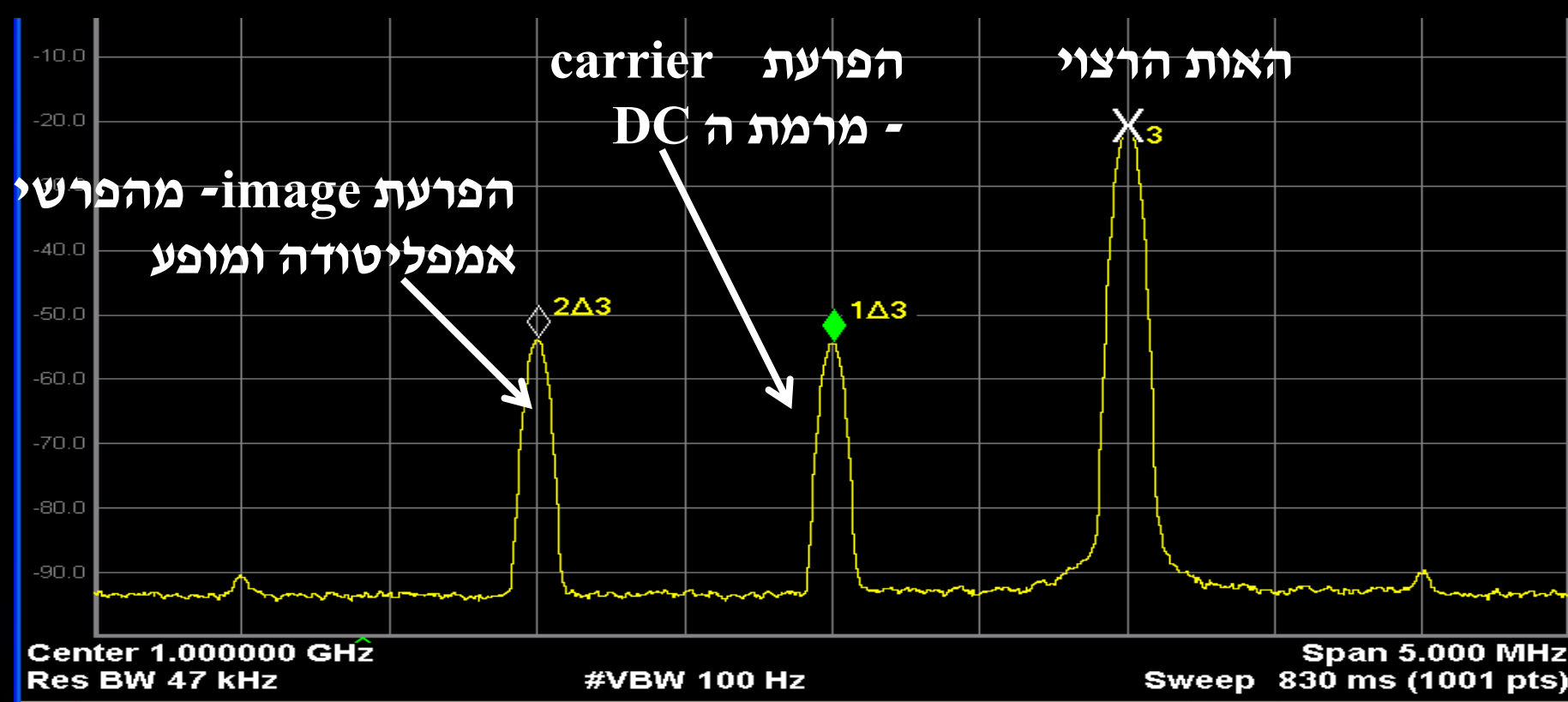


- שינוי הפרשי המופע והאמפליטודה משפיעים על הפרעת גל הנושא ולהפך, לכן הגענו למסקנה שיש צורך קודם להנחית את הפרעת גל הנושא ורק לאחר מכן את הפרעת אות הבבואה, במקרה זה לאחר הנחתת הפרעת גל הנושא ישנו צורך לבדוק בשנית האם הפרעת אות הבבואה עדיין עומדת בתנאי הסף
- ניתן לבצע בשתי צורות את שינוי הפרשי האמפליטודה, כלומר לשנות רק את איבר I ולהשאיר את Q קבוע, או לבצע פעולה הופכית
- בהנחתת הפרעת הבבואה ישנו צורך להתחיל דווקא משינוי הפרשי המופע ורק לאחר מכן לבצע שינוי בהפרשי האמפליטודה, וזאת מכיוון שהפרשי המופע גורמים לרוב ההפרעה



רקע

כיום במודם הלווייני נוצרים עיוותים הנגרמים ע"י חוסר ההתאמה ברכיבי המשדר (L/Q modulator) המתוארים בגרף. עיוותים אלו נוצרים בעקבות הפרשי מופע, אמפליטודה ורמת ה DC בין האותות המאופננים. על מנת לתקן עיוותים אלו מתבצע כיוול במודם הלוויני.



בחברת NovelSat הכיוול מתבצע ע"י שימוש בספקטרום ומחשב. הכיוול הנ"ל מתבצע על כל טווח התדרים ובנוסף לכך זמן ההתקשרות בין יחידות הקצה ארוך יחסית, כתוצאה מעובדות אלו זמן הכיוול מתארך. כאשר ישנו הצורך לכייל מודם מחוץ לחברה, הדבר מצריך הוצאת ציוד יקר לשטח.

הגדרות התכנון ההנדסי

דרישות הפרויקט

- קבלת הנחתה מקסימאלית של ההפרעות (לפחות 60dB הפרש בין אות המידע להפרעות)
- ביצוע הכיוול בזמן המינימאלי האפשרי (פחות מזמן הכיוול שמתבצע כיום)
- ביצוע הכיוול ללא שימוש בציוד חיצוני

מבנה המערכת

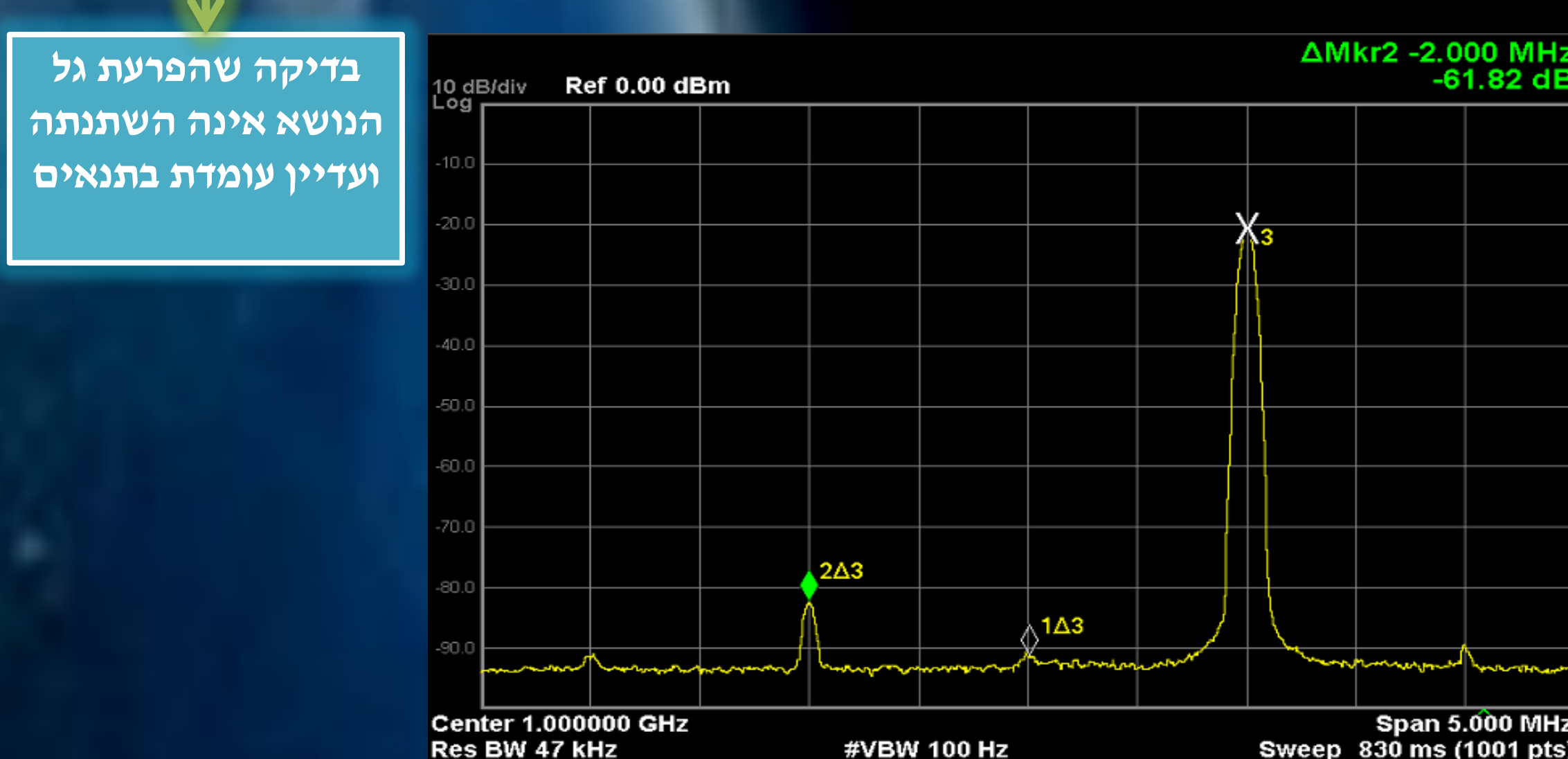
שימוש ברכיבי המודם (מסלול השידור והקליטה בפרט) והוספת משוב בין המשדר למקלט, בנוסף מתבצע עיבוד ושינוי של הפרמטרים אשר יגרמו לתיקון העיוותים. הנתונים המתקבלים מה FPGA מעובדים ע"י תוכנת ה MATLAB, לאחר מכן בעזרת פונקציות (קטע קוד) יבוצע שינוי בפרמטרים אשר חוזרים בחזרה למודם (משוב). הנתונים המתקבלים מה FPGA הינם לאחר תיקון של מסלול הקליטה (ה FPGA מתקן את העיוותים של ה demodulator) הנתונים הנ"ל נדגמים וכל מחזור מוגדר בתוכנת ה MATLAB עד לקבלת תוצאה רצויה.

אלגוריתם לפתרון

ידגימה ראשונית של הנתונים מה FPGA - גילוי התדרים הרלוונטיים – מציאת הפרשים בין אות רצוי להפרעות
יהגדרת פרמטרים התחלתיים של המופע, האמפליטודה ורמת ה DC
שינוי הפרש המופע (φ) בין האותות עד לקבלת הנחתה רצויה – ע"י פתיחת socket שבו מתבצעת כתיבת פקודות לתוך המודם וע"י דגימה של הנתונים מה FPGA
שינוי רמת ה DC בין האותות עד לקבלת הנחתה רצויה – ע"י פתיחת socket שבו מתבצעת כתיבת פקודות לתוך המודם וע"י דגימה של הנתונים מה FPGA



תצוגת האות לאחר הנחתת ההפרעות



מסקנות

הישגים ואתגרים

- בחירה נכונה בין אופציות כיוול שונות
- הגדרת ערכי סף של הפרמטרים לכיוול
- קבלת הנחתה רצויה במינימום איטרציות
- יישום האלגוריתם ב MATLAB
- כיוול של המודם באופן פנימי (ללא PC)
- חסכון משמעותי בזמן כיוול המשדר