

אפנן מאוזן למשדר פס- צד יחיד

מאת: פרופ' יוסי פנחסי 4Z1VC

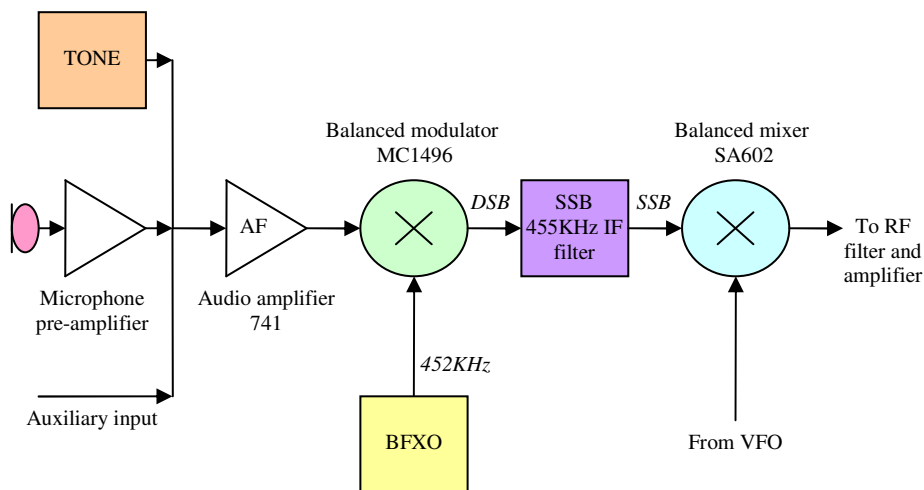
E-mail: yosip@ariel.ac.il

Web site: www.ariel.ac.il/sites/yosip/

המאמר מתאר מימוש אפנן פס-צד יחיד (SSB) באמצעות רכיבים אלקטרוניים נפוצים שניתן להשיגם בנקל, בכלל אלה מעגלים משולבים בתצורת DIP הנוחה יותר לבנייה עצמית. האפנן מבוסס על אפנן מאוזן (Balanced modulator) ליצירת אות מאופנן פס-צד כפול (DSB) ולאחריו מסנן מעביר פס (BPF) צר להעברת אחד מפסי הצד. המערכת תוכננה על ידי, נבנתה ופועלת במעגלי השידור שבניתי. האפנן, כולל המרת תדר כפולה כמתואר סכמתית באיור 1, בנוי משלושה מקטעים עיקריים:

- מגבר מבוא לתדר שמע (AF): ניתן לחבר אליו מיקרופון דינמי או אלקטרוסטטי וכן להזינו בכניסת ה-Auxiliary באות המופק ממערכת שמע כלשהי, כמו למשל המחשב. בנוסף, ניתן להפעיל מתנד שמע פנימי המחולל טון בתדר של כ-1KHz לצורך בדיקת המשדר ואיכות האפנן.
- אפנן מאוזן לתדר ביניים (IF): הוא מבוסס על מעגל משולב MC1496 המחולל אות בפס-צד כפול. מסנן מעביר פס צר (SSB IF filter) סביב תדר של 455KHz מסיר את אחד מפסי הצד לקבלת אות בפס-צד יחיד.
- ערבל מאוזן: כאן נבחר המעגל המשולב SA602 המעלה את אות ה-SSB בתדר הביניים לתדר ה-RF של השידור.

את כל המעגל החשמלי, כולל החלקים האלקטרוניים של ספק הכוח (לא כולל השנאי) ומייצבי המתח, בניתי על מעגלים מודפסים חד-צדדיים בגודל סטנדרטי של 10cm x 16cm. על מנת להשלים את המערכת למשדר שלם, יש להוסיף לאחר האפנן מסנן המעביר את פס התדרים הנדרש, מגבר דוחף (Driver) ומגבר הספק (Power amplifier) אשר אינם מתוארים כאן. ניגש עתה לתיאור מפורט של המעגל והרכיבים האלקטרוניים.



איור 1: אפנן SSB המבוסס על מסנן מעביר פס יחיד.

המעגל החשמלי מתואר באיור 2. מגבר שמע, המבוסס על מגבר השרת 741 (לחילופין ניתן להשתמש ב-TLO71), מסכם שלוש כניסות שמע ומגביר מתח פי 4. אות המיקרופון מגיע מקדם-מגבר (הטרנזיסטור 2N3904) ועוצמתו ניתנת לוויסות באמצעות פוטנציומטר חיצוני. קדם-המגבר מאפשר חיבור גם של מיקרופון דינאמי אשר עוצמת האות ממנו נמוכה מזו המתקבלת ממיקרופון אלקטרוסטטי. יש להקפיד לא לכוון לעוצמת אות גבוהה מידי שעלולה לגרום לקטימת השיאים הגבוהים ועיוות באות המאופנן. הדבר בא לידי ביטוי במיוחד בעת שימוש במיקרופון אלקטרוסטטי הנחשב רגיש יותר בשל השימוש במגבר פנימי. המעגל כולל גם מתנד 'זיזת מופע' פשוט המחולל טון בתדר שמע של כ- 1KHz אשר מופעל באמצעות מתג ייעודי. מתנד השמע, המבוסס גם הוא על הטרנזיסטור 2N3904, מאפשר לבצע בדיקות וכיוליים של האפנן. את עוצמתו מכוונים באופן חד פעמי באמצעות נגד Trimmer של 50KΩ המותקן על המעגל. בנוסף, קיימת כניסת Auxiliary המאפשרת הזנת האפנן באות שמע ממקור אחר, למשל מיציאת ה-Line out של המחשב.

מתנד גבישי (Beat Frequency Crystal Oscillator) מייצר אות תת-נושא בתדר ביניים. על מנת שנבין את שיקולי בחירת התדר של המתנד הזה, נציין שמסנן ה-SSB שבחירתו לדרגת הביניים הוא מסנן קרמי פיאזואלקטרי מדגם CFWLA455KJFA-B0 המיוצר על ידי חברת Murata¹. הוא מעביר פס תדרים צר ברוחב סרט של כ- ±2KHz (בנקודות -6dB) סביב תדר ביניים של 455KHz. למסנן זה מגיע אות DSB מהאפנן המאוזן (ראה איור 1). על מנת שיעביר רק את פס הצד העליון (USB) יש לקבוע את תדר תת הנושא להיות נמוך בכ- 3KHz מהתדר המרכזי, כלומר לכוון את תדר ה-BFXO ל- 452KHz. מתנד ה-BFXO הוא מתנד גבישי המבוסס על 'מהוד קרמי' (Ceramic resonator) המיועד לתדר 455KHz וניתן להשגה בקלות. את תדר התנודה של המתנד מכוונים לתדר הרצוי (452KHz) באמצעות כיוון של קבל המחובר בטור למהוד הקרמי. המתנד מבוסס על טרנזיסטור JFET מסוג 2N4416 ולאחריו חוצץ (Buffer) המורכב מהטרנזיסטורים 2N2222A ומספק את במשרעת של 60-100mVpeak לדרגת האפנן המאוזן.

אות השמע ואות תת הנושא בתדר ביניים מוזנים לאפנן מאוזן (Balanced modulator) המבצע הכפלה ביניהם ליצירת אות בפס- צד כפול (DSB). דרגה זו מבוססת על מעגל משולב וותיק MC1496 שפותח על ידי Motorola ומיוצר על ידי מספר חברות². נגד ה- Trimmer (של 50KΩ) משמש לאיזון האפנן עד ל'דיכווי' האות בתדר תת-הנושא לרמה המינימלית האפשרית. ניתן ל'הפר' את האיזון באמצעות סגירת המתג ובכך לאפשר זליגה של אות תת-הנושא לצורך שידור באופן CW או באופן AM.

על מנת להעביר רק פס צד אחד, נעשה שימוש במסנן צר שתידרו המרכזי הוא 455KHz. בעבר היו קיימים מסנני SSB ייעודיים שתוכננו במיוחד לצורך זה, למשל על ידי חברת Murata, אך כיום קשה להשיגם. המסנן הקרמי CFWLA455KJFA-B0 נמצא כאמור מתאים לבצע את המשימה אפילו ללא דרוגת הגברה נוספת. על מנת לקבל אות SSB, יש לכוון את תדר מחולל תת- הנושא לתדר 452KHz, הנמוך במקצת מהתדר המרכזי של המסנן, כך שפס הצד התחתון יוסר.

כל שנותר עתה הוא להעלות את האות המאופנן מתדר הביניים לתדר השידור. הדבר מתבצע באמצעות המרה נוספת בעזרת ערבול מאוזן (Balanced mixer). לצורך כך נבחר מעגל משולב הנפוץ מאד כיום בקרב החובבים והוא ה- SA602 מתוצרת Philips³. המעגל מבצע הכפלה בין אות ה-SSB בתדר הביניים שהגיע מהאפנן המאוזן וגל סינוסי המופק ממתנד VFO (ראשי תיבות של Variable Frequency Oscillator). על מנת לקבל אות באפנן פס- צד עליון (USB) יש לכוון את תדר ה- VFO להפרש בין תדר השידור המבוקש לתדר ה-BFXO. לצורך אפנן פס- צד תחתון (LSB), יש לכוון לתדר הסכום כמוסבר להלן. משרעת האות של צריכה להיות כ- 500mVpeak. גם במעגל זה קיים נגד Trimmer (של 1MΩ) אשר בעזרתו מכוונים את איזון הערבול למינימום זליגה בתדר הנושא.

¹ Specification of Piezoelectric Ceramic Filter CFWLA455KJFA-B0, Murata (July 23, 2010)

² R. Hejhall: "MC1496 Balanced Modulator", Motorola Semiconductors application note AN531/D (January 2002)

³ "High sensitivity applications of low-power RF/IF integrated circuits", Philips Semiconductors application note AN1993 (August 2007)

במוצא הערבול יש להתקיין מסנן מעביר פס שמרכזו באמצע תחום תדרי השידור ורוחבו לא יעלה על מאות בודדות של קילו-הרצים. זאת על מנת למנוע שידור של אות בבואה (Image) שהוא תוצר נוסף של תהליך הערבול. נבחר זאת בעזרת הדוגמא הבאה. נניח שמעוניינים לשדר בתדר של 14.175MHz, שהוא מרכז תחום ה- 20 מטר המוקצה לחובבי הרדיו. כאמור מכוון מתנד ה- BFXO לתדר של 452KHz כך שמתקבל אות USB לאחר מסנן ה- SSB. בתחום ה- 20 מטר משדרים בפס- צד העליון ולכן יש לכוון את ה- VFO לתדר ההפרש:

$$14.175 - 0.452 = 13.723\text{MHz}$$

במוצא הערבול, מתקבל אות ה- RF בתדר המבוקש (14.175MHz) אך גם תוצר נוסף בתדר בבואה:

$$13.723 - 0.452 = 13.271\text{MHz}$$

שהוא מחוץ לתחום התדרים המוקצה לחובבי הרדיו. המסנן לאחר הערבול נידרש בכדי למנוע מעבר של תוצרי הבבואה לדרגות ההספק של המשדר ומשם לאנטנה. נשים לב שתוצר הבבואה ממוקם בתדר המרוחק פי שניים מתדר הביניים. בדוגמא שלנו נבחר תדר ביניים של 452KHz, ולכן אות הבבואה מתקבל בתדר הנמוך ב- $2 \times 452 = 904\text{KHz}$ מתדר השידור. לביצוע הסינון, נדרש רוחב הסרט של מסנן מעביר- פס שצריך להיות קטן מ- 904KHz.

איור 2: מבוא השמע ומתנד BFXO לתדר ביניים.

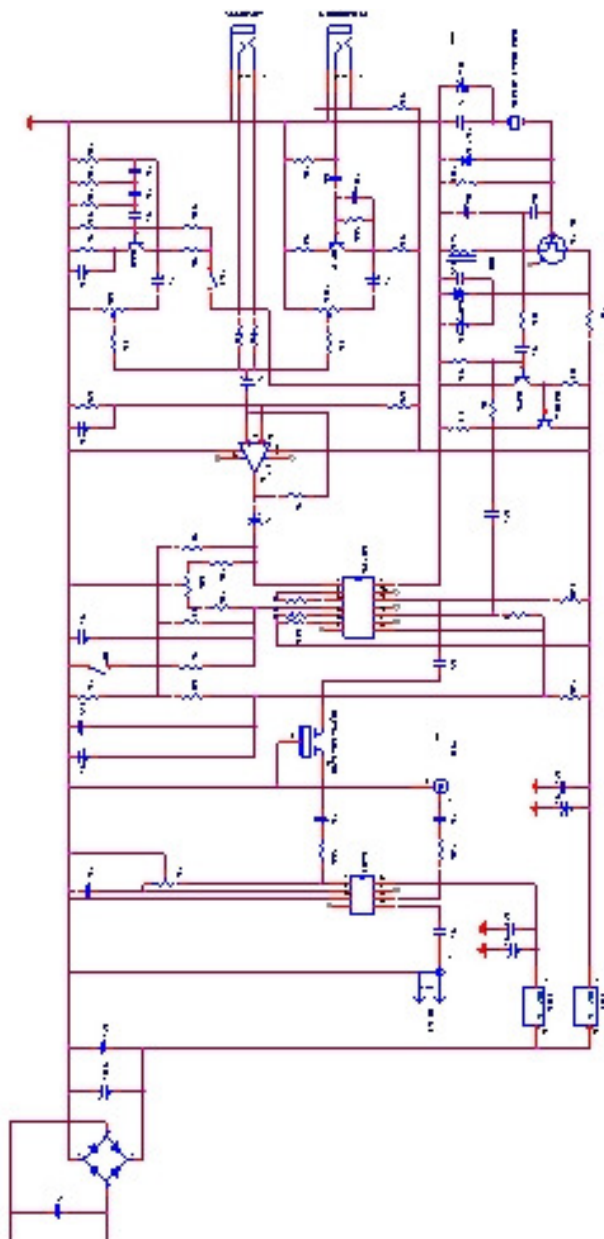
באופן דומה נחשב את התדר אליו יש לכוון את ה- VFO על מנת לשדר בתדר של 7.130MHz בתחום ה- 40 מטר בבאיפנון LSB. היות ואות תדר הביניים במוצא מסנן ה- SSB הוא אות USB, יש לכוון את ה- VFO לתדר הסכום:

$$7.130 + 0.452 = 7.582\text{MHz}$$

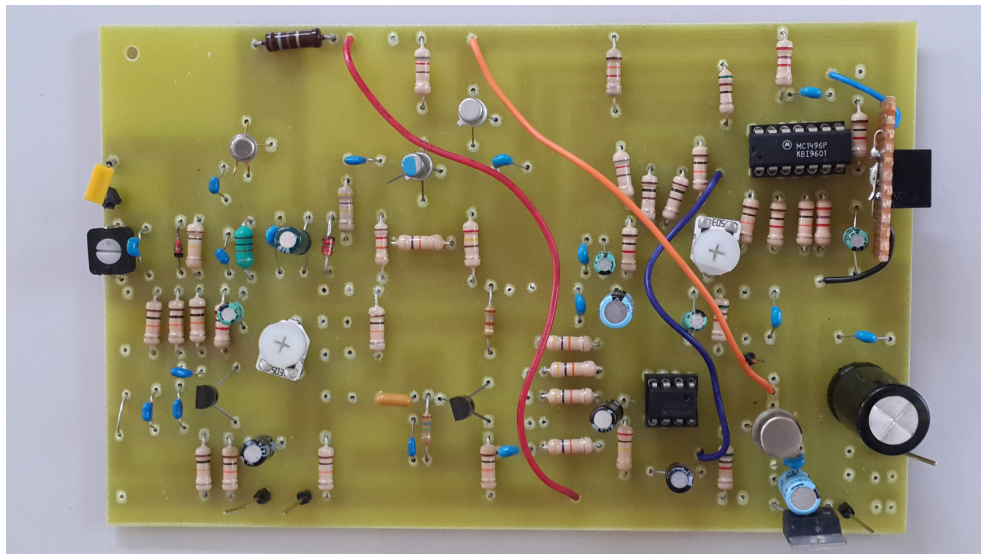
כך שיתקבל במוצא הערבול אות ה- RF בתדר המבוקש (7.130MHz) ובאפנון LSB. בנוסף מתקבל תוצר בתדר בבואה:

$$7.582 + 0.452 = 8.034\text{MHz}$$

אותו כאמור יש לסנן באמצעות מסנן מתאים לתחום השידור. נציין שבדרך כלל בוחרים תדר ביניים גבוה הרבה יותר על מנת להרחיק את תוצר הבבואה ולהפרידו מתדר השידור כך שניתן יהיה לסננו ביעילות.



באיור 3 מובאת תמונה של המעגל כפי שהוא ניבנה על ידי על מעגל מודפס. בצד שמאל למעלה מתנד ה-BFXO, למטה מתנד שמע. בצד ימין למטה מגבר השרת 741 ולמעלה מבחנינים במסנן הקרמי במוצא הערבל המאוזן MC1496. הערבל SA602 אינו מופיע בתמונה.



איור 3 : תמונת מעגל הערבל מאוזן.

למי שמעוניין בפרטים נוספים נא לפנות אל יוסי פנחסי [4Z1VC yosip@ariel.ac.il](mailto:yosip@ariel.ac.il)
