

מערכות אלקטרוניות ג'

שתי יחידות לימוד (השלמה לחמש יחידות לימוד)
(כיתה י"ב)

הוראות לנבחן

- א. משך הבחינה: שלוש שעות.
 - ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון שני פרקים, ובהם תשע שאלות. יש לענות על חמש שאלות בלבד, שאלה אחת לפחות מכל פרק. לכל שאלה – 20 נקודות. סך-הכל – 100 נקודות.
 - ג. חומר עזר מותר לשימוש: מחשבון.
 - ד. הוראות מיוחדות:
 1. ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
 2. התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
 3. רשום את כל תשובותיך אך ורק בעט.
 4. הקפד לנסח את תשובותיך כהלכה ולסרטט את תרשימיך בהירות.
 5. כתוב את תשובותיך בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה שלהן.
 6. אם לדעתך חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.
 7. בכתובת פתרונות חישוביים, קבלת מֶרֶב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהלן, בסדר שבו הם רשומים:
 - * רישום הנוסחה המתאימה.
 - * הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.
 - * חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).
 - * רישום התוצאה המתקבלת בציון יחידות המידה המתאימות.
 - * ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.
- בשאלון זה 7 עמודים ו-5 עמודי נוסחאון.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,
אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

בהצלחה!

השאלות

בשאלון שני פרקים, ובהם תשע שאלות. יש לענות על חמש שאלות בלבד,
שאלה אחת לפחות מכל פרק.

פרק ראשון: תקשורת תקבילית

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 1-5 (לכל שאלה – 20 נקודות).

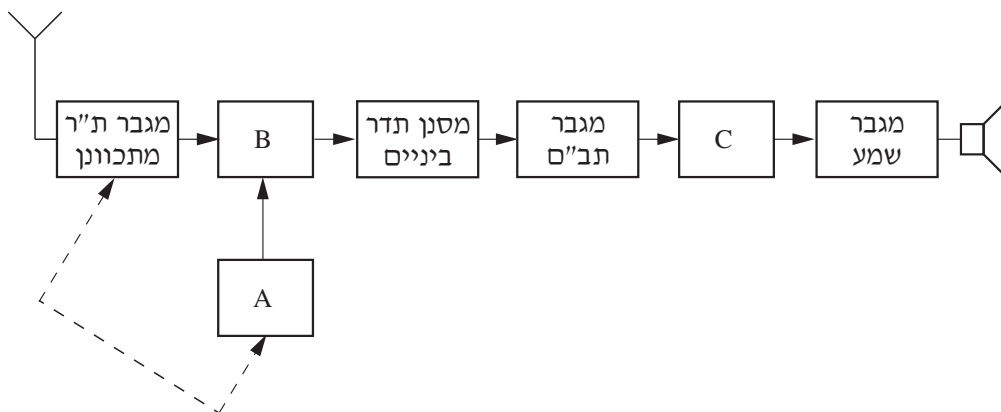
שאלה 1

- א. לאפנן FM (VCO) תדר מרכזי של 4 MHz ורגישות של $0.5 \frac{\text{kHz}}{\text{V}}$. למבוא האפנן מסופק אות-מידע שביטוי: $V_{in}(t) = 2 \cdot \sin(2\pi \cdot 10^4 \cdot t)$. מצא את תחום התדרים המתקבל במוצא האפנן.
- ב. משדר FM כולל את האפנן המתואר בסעיף א' וכופל תדר פי 25. חשב את:

- מקדם האפנון של המשדר
- רוחב-הפס של האות המשודר

שאלה 2

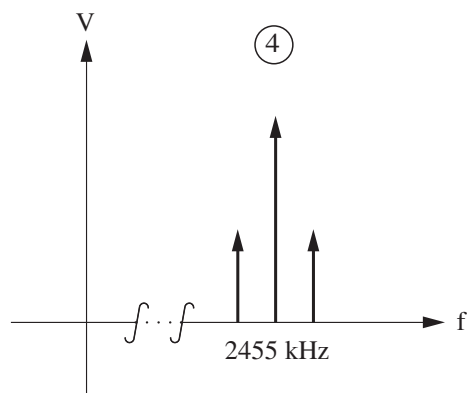
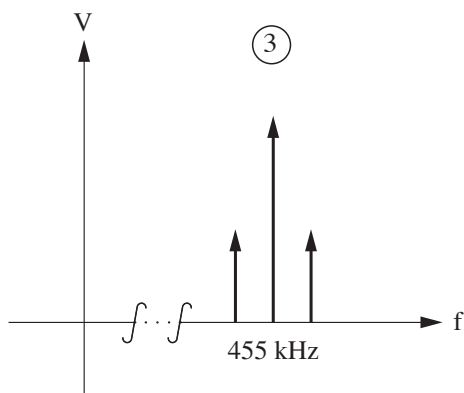
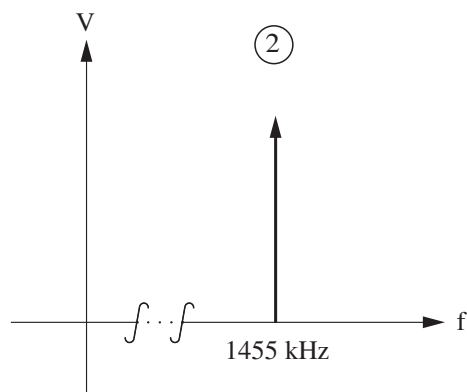
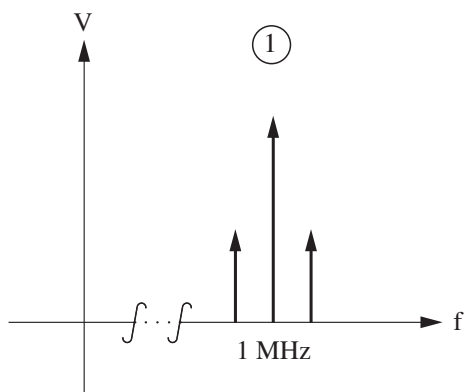
- א. באיור א' לשאלה 2 נתון תרשים מלבנים של מקלט AM.



איור א' לשאלה 2

ציין את שמה של כל אחת מן היחידות A, B ו-C, והסבר את התפקיד של כל אחת מהן.

ב. באיור ב' לשאלה נתונים תיאורים ספקטראליים של ארבעה אותות. כל אחד מן האותות מתקבל במוצא של יחידה אחרת במקלט ה-AM המתואר בסעיף א'.



איור ב' לשאלה 2

במוצאה של איזו יחידה מתקבל כל אחד מארבעת האותות הללו? נמק את תשובותיך.

- ג. 1. הסבר את תכונת הברירות של מקלט AM.
2. איזו יחידה במקלט AM משפיעה על תכונת הברירות שלו? נמק את תשובתך.

שאלה 3

- א. סרטט מעגל חשמלי עקרוני של גלאי מעטפת.
- ב. הסבר את פעולת המעגל החשמלי; סרטט את צורת האות במבוא הגלאי ואת צורת האות במוצאו.
- ג. מהם השיקולים בבחירת ערכו של קיבול הקבל בגלאי מעטפת?

שאלה 4

- א. סרטט תרשים מלבנים של מקלט FM, הכולל בקרת תדר אוטומטית (AFC).
- ב. הסבר את תפקידה של כל אחת מן היחידות שלהלן במקלט FM: מגבל, בקרת תדר אוטומטית, וגלאי FM.
- ג. להלן הביטוי של אות מאופנן FM : $X_{FM}(t) = 10 \cdot \sin [10^8 \cdot t + \cos (6280 \cdot t)]$:
חשב את:

1. תדר הגל הנושא.
2. סטיית התדר המרבית של האות המאופנן.
3. רוחב־הפס של האות המאופנן.
4. מקדם האפנון של האות המאופנן.

שאלה 5

להלן הביטוי של אות מאופנן AM : $X_{AM}(t) = [12 + 9 \cdot \cos (5\pi \cdot 10^3 \cdot t)] \cdot \cos (2\pi \cdot 10^6 \cdot t)$:
הספקו של האות המאופנן הוא 10 W .

- א. סרטט שני מחזורים של הגל הנושא. ציין בסרטוטך את תנופת הגל ואת זמן־המחזור שלו.
- ב. חשב את מקדם האפנון של האות המאופנן.
- ג. סרטט את צורת האות המאופנן כפונקציה של הזמן בתחום $0 \leq t \leq 0.8 \text{ msec}$. ציין בסרטוטך את הערך המרבי ואת הערך המזערי של עוצמת האות.
- ד. חשב את ההספק המתקבל בכל פס־צד ואת נצילות השידור של האות המאופנן.

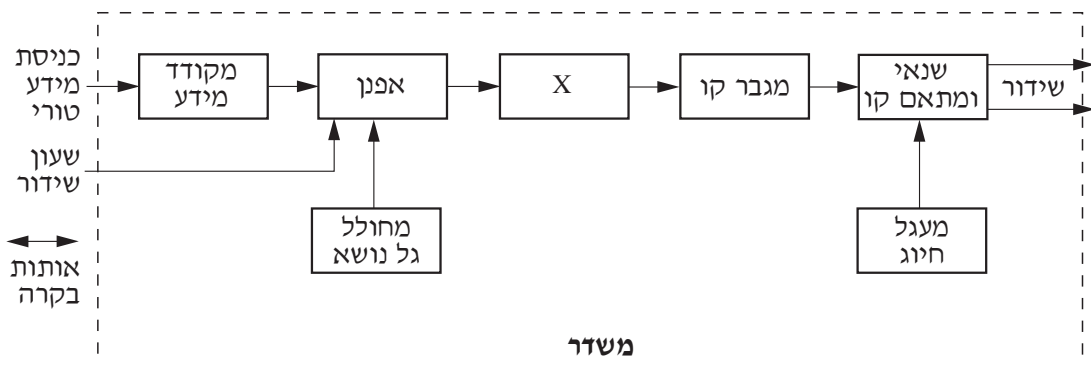
פרק שני: תקשורת ספרתית

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 6-9 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 6

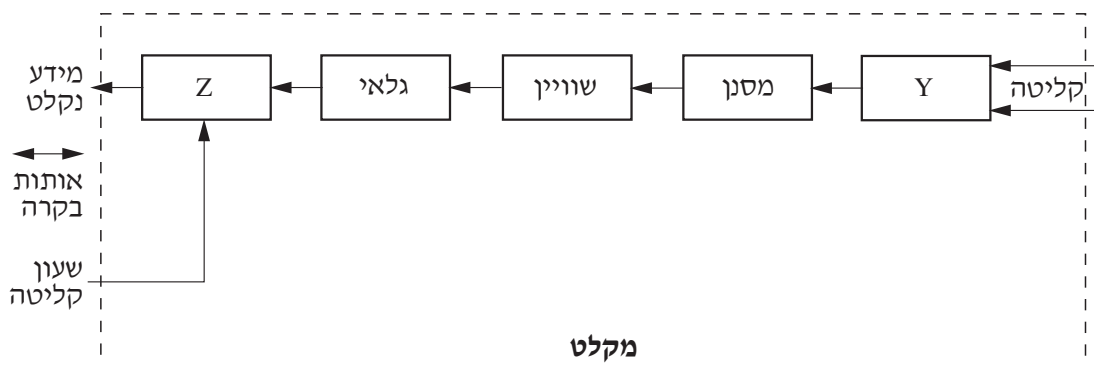
א. הסבר מהו מודם ומדוע יש בו צורך במערכת תקשורת ספרתית.

ב. באיור לשאלה 6 מתואר תרשים מלבנים עקרוני של מודם (FOUR WIRE) 4W.



צד ציוד הקצה

צד הקו



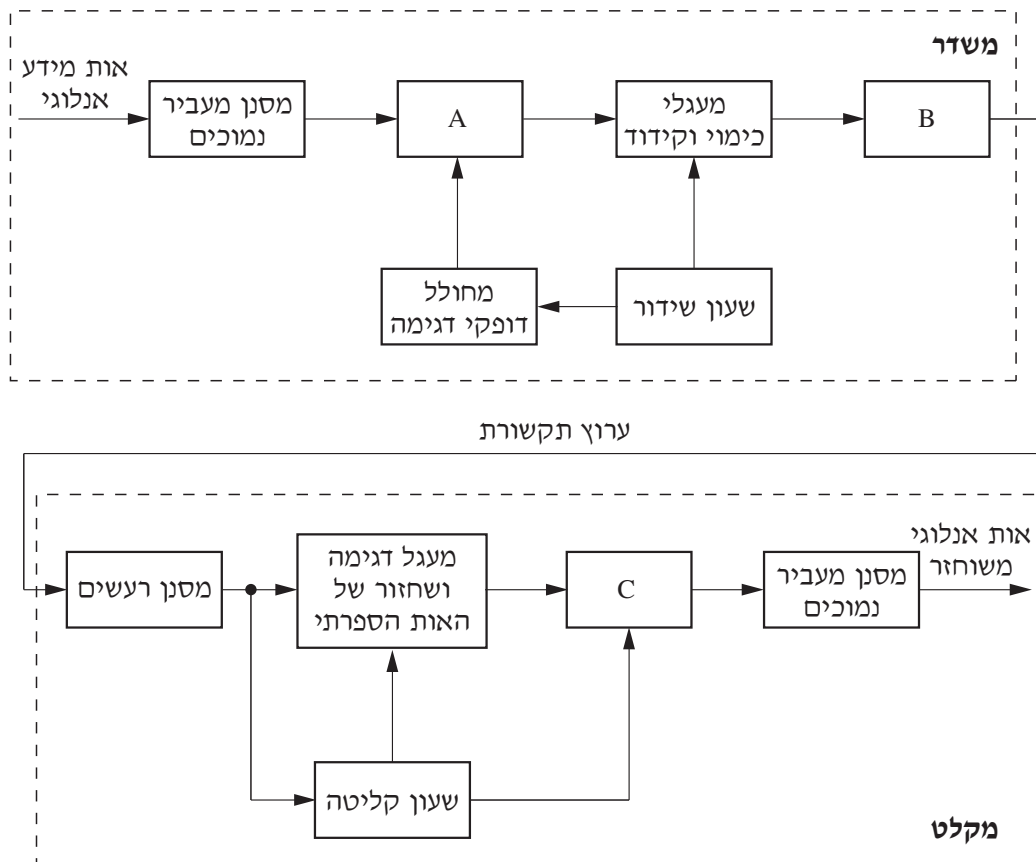
איור לשאלה 6

ציין את שמה והסבר את תפקידה של כל אחת מן היחידות X, Y ו-Z.

ג. הסבר את אופן הפעולה של המערכת המתוארת באיור.

שאלה 7

א. באיור לשאלה 7 נתון תרשים מלבנים של מערכת תקשורת ספרתית, הפועלת בשיטת אפנון דופק מקודד (PCM).



איור לשאלה 7

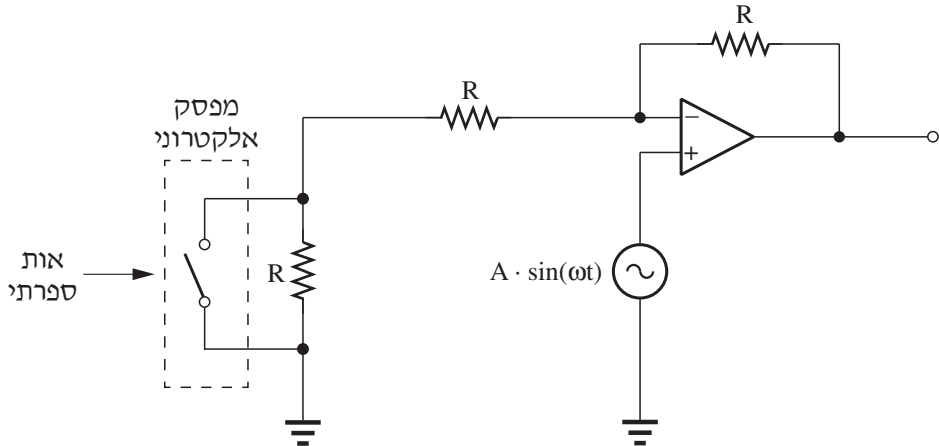
ציין את שמה והסבר את תפקידה של כל אחת מן היחידות A, B ו-C במערכת הזו.

ב. במערכת התקשורת הנתונה בסעיף א' דוגמים אות מידע אנלוגי בקצב של 1 kHz ומכמתים אותו ל-16 רמות מתח. במוצא המשדר התקבל הערך $(7AFC82)_{16}$.

סרטט את האות האנלוגי המשוחזר במוצא המקלט כפונקציה של הזמן. ציין בסרטוטך את ערכי הזמן בהתאם לקצב הדגימה של אות המידע.

שאלה 8

א. באיור לשאלה 8 נתון מעגל חשמלי. הסבר את תפקידו ואת אופן פעולתו של המעגל הזה.



איור לשאלה 8

- ב. סרטט תרשים מלבנים של מערכת המשמשת לגילוי אות מידע ספרתי המאופנן בשיטת מפתוח זיזת תנופה (ASK).
- ג. נתונה המילה הספרתית $(5B3)_{16}$. סרטט את אות המידע הספרתי המתקבל לאחר המרתה לבסיס בינארי, וסרטט מתחתיו, בהתאמה, את האות המתקבל בשיטות האפנון האלה:
1. מפתוח זיזת תנופה (ASK)
 2. מפתוח זיזת תדר (FSK)
 3. מפתוח זיזת מופע (PSK)

שאלה 9

מעוניינים לרבב אותות אנלוגיים, שרוחב-הפס של כל אחד מהם הוא $0 \div 5 \text{ kHz}$, בערוץ תקשורת מסוג TDM. הזמן של כל דגימה הוא $1 \mu\text{sec}$, והפרש הזמן המזערי (המינימלי) בין דגימות עוקבות בערוץ המשותף הוא $4 \mu\text{sec}$.

- א. חשב את תדר הדגימה המזערי (המינימלי) של כל אחד מן האותות על-פי חוק נייקוויסט.
- ב. חשב את מספר האותות המרבי שניתן לרבב בערוץ הזה כאשר תדר הדגימה הוא 10 kHz .
- ג. חשב את קצב העברת הנתונים בערוץ הזה כאשר האות הדגום מכומת ל-256 רמות מתח.

בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות אלקטרוניות (5 עמודים)

1. תקשורת תקבילית

אפנון תנופה (AM):

הערך הרגעי של המתח - $X_{AM}(t)$ [V]

גל המאופן AM

$$X_{AM}(t) = A_c (1 + m_a \cos \omega_m t) \cos \omega_c t$$

תנופת הגל הנושא - A_c [V]

תנופת הגל המאפן - A_m [V]

מקדם אפנון AM - m_a

$$m_a = \frac{A_m}{A_c}$$

תדר הגל המאפן - f_m [Hz]

תדר זוויתי של הגל המאפן - ω_m $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$

תדר הגל הנושא - f_c [Hz]

תדר זוויתי של הגל הנושא - ω_c $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$

$$\omega_m = 2\pi f_m$$

$$\omega_c = 2\pi f_c$$

תנופת פס-הצד העליון - $V_{USB}(\text{max})$ [V]

$$V_{USB}(\text{max}) = \frac{A_m}{2}$$

תנופת פס-הצד התחתון - $V_{LSB}(\text{max})$ [V]

$$V_{LSB}(\text{max}) = \frac{A_m}{2}$$

f_{USB} [Hz] - תדר פס־הצד העליון

$$f_{\text{USB}} = f_c + f_m$$

f_{LSB} [Hz] - תדר פס־הצד התחתון

$$f_{\text{LSB}} = f_c - f_m$$

BW [Hz] - רוחב הפס של גל מאופנן AM

$$BW = 2f_m$$

P_{AM} [W] - הספק של גל מאופנן AM

$$P_{\text{AM}} = P_c + P_{\text{USB}} + P_{\text{LSB}}$$

P_c [W] - הספק הגל הנושא

$$P_c = \frac{A_c^2}{2R}$$

R [Ω] - התנגדות העומס

P_{USB} [W] - הספק פס־הצד העליון

$$P_{\text{USB}} = P_{\text{LSB}} = P_c \cdot \frac{m_a^2}{4}$$

P_{LSB} [W] - הספק פס־הצד התחתון

$$P_{\text{AM}} = P_c \left(1 + \frac{m_a^2}{2} \right)$$

η - נצילות שידור באפנן AM

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{2}{m_a^2}}$$

אפנון תדר (FM):

- הערך הרגעי של המתח
 בגל המאופנן FM - $X_{FM}(t)$ [V]
- תדר זוויתי של הגל הנושא - ω_c $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$
- תדר זוויתי של הגל המאפנן - ω_m $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$
- תנופת הגל הנושא - A_c [V]

$$X_{FM}(t) = A_c \sin(\omega_c t + m_f \cos \omega_m t)$$

- מקדם אפנון FM - $m_f = \beta$
- סטיית התדר המרבית - $\Delta f_c(\text{max})$ [Hz]
- תדר הגל המאפנן - f_m [Hz]

$$\beta = m_f = \frac{\Delta f_c(\text{max})}{f_m}$$

- רוחב הפס של גל מאופנן FM - BW [Hz]

$$BW \approx 2f_m (m_f + 1)$$

- הספק של גל מאופנן FM - P_{FM} [W]
- התנגדות העומס - R [Ω]

$$P_{FM} = P_c = \frac{A_c^2}{2R}$$

אפנון פזה (PM):

$$X_{PM}(t) = A_c \cdot \cos(\omega_c t + K_p \cdot A_m \cos \omega_m t)$$

$X_{PM}(t)$ [V] - הערך הרגעי של המתח

בגל המאופנן PM

$K_p \left[\frac{\text{rad}}{\text{V}} \right]$ - קבוע אפנון מופע

γ [rad] - סטייה מרבית של המופע

$$\gamma = K_p \cdot A_m$$

מקלטים:

f_o [Hz] - תדר התהודה

Q - גורם הטיב

BW [Hz] - רוחב הפס

$$BW = \frac{f_o}{Q}$$

f_{IF} [Hz] - תדר הביניים במקלט מסוג
 סופר־הטרודיין

$$f_{IF} = f_{LO} - f_{RF}$$

עבור $f_{LO} > f_{RF}$

f_{LO} [Hz] - תדר המתנד המקומי

$$f_{IM} = f_{RF} + 2 \cdot f_{IF}$$

f_{RF} [Hz] - תדר התחנה הנקלטת

$$f_{IF} = f_{RF} - f_{LO}$$

עבור $f_{LO} < f_{RF}$

f_{IM} [Hz] - תדר ראי במקלט סופר־הטרודיין

$$f_{IM} = f_{RF} - 2 \cdot f_{IF}$$

רעש:

מתח רעש אפקטיבי
 (מתח רעש תרמי) - V_n [V]

$$V_n = \sqrt{4K \cdot T \cdot R \cdot BW}$$

קבוע בולצמן - $K = 1.38 \cdot 10^{-23} \left[\frac{J}{^\circ K} \right]$

טמפרטורה - T [$^\circ K$]

התנגדות העומס - R [Ω]

רוחב הפס - BW [Hz]

הספק הרעש (הספק תרמי) - P_N [W]

$$P_N = K \cdot T \cdot BW$$

יחס אות לרעש - SNR [dB]

הספק האות - P_S [W]

הספק הרעש - P_N [W]

$$SNR = 10 \log \frac{P_S}{P_N}$$

2. תקשורת ספרתית

תדר דגימה - f_s [Hz]

תדר ההרמוניה הגבוהה ביותר
 של האות הנדגם - $f_m(\max)$ [Hz]

$$f_s \geq 2f_m(\max)$$

בהצלחה!