פרק -1 מערכות ספרתיות

1 מבוא.

שיטת הספירה שידועה לכולנו ואליה הורגלנו בחיי היום-יום נקראת "שיטת הספירה העשרונית". בימינו נפוצות מאד מערכות חישוב אלקטרוניות שהבולטת שבהם היא המחשב. במערכות אלו החישובים נעשים בשיטת ספירה שנקראת השיטה הבינרית. שיטה זו מתאימה במיוחד לתאור התנהגות מרכיבים אלקטרוניים שעשויים להימצא באחד מ-2 מצבים בלבד, כגון: מצב אחד יש זרם ברכיב , מצב שני – "אין זרם". נהוג לסמן את המצבים הללו בסמלים 0 או 1.

בשיטה הספירה הבינרית הסמלים היחידים הם 0 ו-1.

למשל: קבוצת הספרות הבינריות 0101 הינה ייצוג בינרי של ערך 5 (בשיטהעשרונית) כפי שיוסבר בהמשך.

שתי השיטות שהזכרנו שיטת הספירה העשרונית ושיטת הספירה הבינרית הן שיטות ספירה "מיקומיות" (מלשון מיקום). ערכה של כל ספרה בשיטות אלו נקבע ע"י מיקומה במספר. כל שיטת ספירה מאופיינת ע"י מספר המכונה : בסיס השיטה (או בסיס הספירה) למשל בסיס השיטה העשרונית: 10, בסיס שיטה בינרית: 2. נציין כאן (נרחיב בהמשך) שמספר הספרות האפשריות בכל שיטה שווה לבסיס השיטה. למשל, בשיטה העשרונית קיימות 10 ספרות 9...0. בשיטה בינרית: 2 ספרות: 0 ו-1 וכן בצורה דומה בבסיסים אחרים.

1.1 ייצוג מספרים בבסיסים שונים

1.1.1 ייצוג מספרים שלמים .

נפתח עם דוגמא של מספרים עשרוניים שמוכרים לנו. המספר 7392 מייצג ערך של 7 אלפים , 3 מאות , 9 עשרות ו-2 יחידות.

ניתן לרשום את המספר באופן הבא :

$$7392 = 7\times10^3 + 3\times10^2 + 9\times10^1 + 2\times10^0$$

אולם מוסכם שכותבים את המקדמים בלבד, ועל פי מיקומם יודעים את החזקות המתאימות של 10.

באופן כללי מספר (עשרוני) עם נקודה עשרונית מיוצג ע"י סדרת מקדמים. לדוגמא:

$$a_5 a_4\, a_3\, a_2\, a_1\, a_o\ .a_{-1}\, a_{-2}\, a_{-3}$$

המקדמים a_j הינם מתוך עשר הספרות: $(0.....9)$ והמציין j מייצג את המיקום, כלומר את החזקה של 10 שבה מוכפל המקדם. נרשום בצורה מפורשת את המספר דלעיל :

$$10^5\cdot a_5 + 10^4 a_4 + 10^3 a_3 + 10^2\cdot a_2 + 10^1 a_1 + 10^0\cdot a_0 +$$
$$+10^{-1}\cdot a_{-1} + 10^{-2}\cdot a_{-2} + 10^{-3}\cdot a_{-3}$$

בצורה כללית בבסיס כלשהו , מספר שלם בעל n ספרות מיוצג ע"י שרשרת סימנים : $d_{(n-1)}d_{(n-2)}\ldots\ldots d_0$

אנו מגדירים שמספר N שלם שמיוצג ע"י שרשרת הספרות הנ"ל ערכו העשרוני שווה ל: $N=\sum_{i=0}^{n-1} d_i\,(r)^i$.

כאשר d_i זה הספרה במקום i , r – זה הבסיס.

אם נפתח את ה- $\sum$:

$N=d_o\left(r^o\right)+d_1\cdot r^1+\ldots..+d_{(n-1)}\cdot r^{(n-1)}$ (ערך דצימלי של $d_{(n-1)}\ldots d_o$ בבסיס r) .

הבסיס r קובע למעשה את שיטת הייצוג. [שים לב שערך הספרות בבסיס r הנו בין 0 ל- (r-1)].

שיטה עשרונית : $r=10$ $d_i=0\ldots7,8,9$ (ערך הספרות)

שיטה אוקטלית : $r=8$ $d_i=0,1,2\ldots7$

שיטה בינרית : $r=2$ $d_i=0,1$

שיטה טרנרית : $r=3$ $d_i=0,1,2$

בסיס נוסף מאד נפוץ הוא הינו בסיס 16 שנקרא : בסיס הקסאדצימלי HEX . בבסיס זה 16 הספרות הן :

$d_i=0,1,\ldots9,\ A,\ B,\ C,\ D,\ E,\ F$

↑ ↑ ↕ ↕ ↕ ↕

מיצג 10 מיצג 11 12 13 14 15

1.1.2 ייצוג מספר מעורב: (מכיל חלק שלם ושבר)

$d_{(n-1)}\,d_{(n-2)}\ldots..d_0\,.\,d_{-1}\,d_{-2}\ldots.d_{-m}$ - **מספר** זה מכיל n ספרות משמאל לנקודה ו-m ספרות מימין לנקודה .

אם בסיס של המספר הוא r אז :

$N=\underbrace{d_{(n-1)}\cdot r^{(n-1)}+\ldots+d_o}_{\text{חלק של השלם}}\cdot r^o+\underbrace{d_{-1}\cdot r^{-1}+\ldots d_{-m}}_{\text{חלק של השבר}}\cdot r^{-m}$ - ערך דצימלי (עשרוני) של מספרי בבסיס r .

בצורת רישום מקוצרת : $N=\sum_{i=-m}^{(n-1)} d_i r^i$

כדי להבדיל בין מספרים המיוצגים לפי בסיסים שונים , אנו מקיפים את המספר בסוגריים ורושמים את הבסיס שבו השתמשנו בעזרת מציין תחתון מימין לסוגריים.

דוגמא : נתון מספר בבסיס 5 .(בבסיס 5 תחום ספרות 0…4) . מצא את ערכו בבסיס 10 .

$$(4021.2)_5 = 4\times5^3+0\times5^2+2\times5^1+1\cdot5^0+2\times5^{-1}=(511.4)_{10}$$

במידה ולא רושמים בסיס למספר , כוונה היא שהבסיס הינו עשרוני .

טבלה של מספרים לפי בסיסים שונים .

עשרוני בסיס 10	בינרי בסיס 2	אוקטלי בסיס 8	HEX בסיס 16
00	0000	00	0
01	0001	01	1
02	0010	02	2
03	0011	03	3
04	0100	04	4
05	0101	05	5
06	0110	06	6
07	0111	07	7
08	1000	10	8
09	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F

ייצוג מספרים במחשב:

במחשב מספרים מיוצגים ע"י שרשרת של ביטים (סיביות) של 1 ,0. כמובן שזה בסיס 2.

הסיבית הימנית ביותר נקראת "פחות משמעותית" (כי תורמת הכי פחות בחישוב ערך) ובלועזית .L.S.B.

הסיבית שמאלית ביותר נקראת סיבית "המשמעותית ביותר " (כי תורמת הכי הרבה בחישוב ערך) ובלועזית .M.S.B.

1.2 המרת מספר מבסיס לבסיס

1.2.1 מעבר מבסיס כלשהו לבסיס 10 נעשה לפי הנוסחה שבסעיף 1.1.2 .

דוגמא :

$$(630.4)_8 = 6\times 8^2 + 3\times 8^1 + 0\cdot 8^o + 4\times 8^{-1} = 408.5 .$$

1.2.2 מעבר מבסיס 10 לבסיס כלשהו .

ההמרה ממערכת עשרונית למערכת לפי בסיס R נעשית בצורה נוחה יותר אם מפרידים את המספר לחלק שלם, ולשבר, וממירים כל חלק בנפרד.

נעשה דוגמא של המרה מעשרוני לבינרי, ולאחר מכן נתאר אלגוריתם (שיטה) כללי למעבר מבסיס 10 לבסיס כלשהו.

המרת חלק שלם של מספר עשרוני לבסיס כלשהו

נבצע דוגמא להמרה ולבסוף נסביר בצורה כללית ונוכיח את נכונות השיטה .

המר את מספר $(41)_{10}$ לבסיס 2.

שיטה: ראשית נחלק את 41 ל-2: מנה הינה 20 ושארית 1. את המנה נחלק שוב ב-2 ונקבל מנה ושארית חדשות. נמשיך בתהליך זה עד שהמנה המתקבלת הינה 0. המקדמים של המספר הבינרי המבוקש מתקבלים מהשאריות באופן הבא:

מקדם	שארית	מנה שלמה
$a_o = 1$	1	$\frac{41}{2} = 20$
$a_1 = 0$	0	$\frac{20}{2} = 10$
$a_2 = 0$	0	$\frac{10}{2} = 5$
$a_3 = 1$	1	$\frac{5}{2} = 2$
$a_4 = 0$	0	$\frac{2}{2} = 1$
$a_5 = 1$	1	$\frac{1}{2} = 0$

התוצאה הסופית הינה:

$$(41)_{10} = (a_5\, a_4\, a_3\, a_2\, a_1\, a_o)_2 = (101001)_2$$

כללית: המרה מבסיס 10 לבסיס R כלשהו, דומה לדוגמא דלעיל אלא שמחלקים ב-R .

דוגמא: המר את המספר העשרוני 153 למספר אוקטלי (כלומר למספר בבסיס 8).

מקדם	שארית	מנה שלמה
$a_o = 1$	1	$\frac{153}{8} = 19$
$a_1 = 3$	3	$\frac{19}{8} = 2$
$a_2 = 2$	2	$\frac{2}{8} = 0$

סכום: קיבלנו $(153)_{10} = (231)_8$.

<u>הוכחת השיטה להמרת חלק שלם של מספר עשרוני לבסיס כלשהו</u> .

בכל שלב מחלקים בבסיס b. השארית מהווה ספרה במספר החדש, והמנה מועברת לשלב הבא:

$$\left(d_{n-1}d_{n-2}..d_1d_0\right)_b = d_{n-1}\cdot b^{n-1} + d_{n-2}\cdot b^{n-2} + \ldots + d_1\cdot b^1 + d_0\cdot b^0 =$$
$$= \left(d_{n-1}\cdot b^{n-2} + d_{n-2}\cdot b^{n-3} + \ldots + d_1\right)b + d_0$$

לאחר חלוקה של הביטוי האחרון ב- b השארית המתקבלת הינה d_0.

המנה הינה : $d_{n-1}\cdot b^{n-2} + d_{n-2}\cdot b^{n-3} + \ldots\ldots\ldots + d_1$.

כעת נרשום את המנה בצורה הבאה:

$$d_{n-1}\cdot b^{n-2} + d_{n-2}\cdot b^{n-3} + \ldots\ldots\ldots + d_1 = (d_{n-1}\cdot b^{n-3} + d_{n-2}\cdot b^{n-4} + \ldots\ldots\ldots + d_2)\cdot b + d_1$$

לאחר חלוקה של הביטוי האחרון ב- b השארית המתקבלת הינה d_1.

המנה הינה : $d_{n-1}\cdot b^{n-3} + d_{n-2}\cdot b^{n-4} + \ldots\ldots\ldots + d_2$.

בצורה דומה נמשיך בחלוקת המנה ונקבל את כל ה- d_i .

המרת שבר עשרוני לבסיס כלשהו

נמחיש ע"י דוגמא ולאחר מכן נסביר בצורה כללית.

המר את $(0.6875)_{10}$ למספר בינרי.

השיטה : כצעד ראשון נכפיל את המספר ב-2 ונקבל מספר שמורכב משלם ומשבר. השבר יוכפל ב-2 ונקבל שלם חדש ושבר חדש. התהליך ימשך עד שהשבר שווה ל-0 או עד שנגיע למספר הספרות הדרוש אחרי הנקודה (כלומר למידת הדיוק שבה אנו מעוניינים). הפעם המקדמים יהיו החלק השלם.

מקדם	שבר	שלם
$a_{-1}=1$	0.375 +	$0.6875\times 2=1$
$a_{-2}=0$	0.75 +	$0.375\times 2=0$
$a_{-3}=1$	0.5 +	$0.75\times 2=1$
$a_{-4}=1$	0 +	$0.5\times 2=1$

תוצאה : $(0.6875)_{10}=(0.1011)_2$

כללית: כדי להמיר שבר עשרוני למספר שמיוצג בבסיס R משתמשים בשיטה דומה למה שעשינו בדוגמא. במקום לכפול שבר ב-2 כופלים ב-R וערכי המקדמים יהיו בין 0 ל- (R-1).

דוגמא : המר את (0.513) למספר אוקטלי עם דיוק של 6 ספרות אחרי הנקודה.

מקדם	שבר	שלם	פעולה
$a_{-1}=4$	0.104	+ 4	$0.513\times 8=$
$a_{-2}=0$	0.832	+ 0	$0.104\times 8=$
$a_{-3}=6$	0.656	+ 6	$0.832\times 8=$
$a_{-4}=5$	0.248	+ 5	$0.656\times 8=$
$a_{-5}=1$	0.984	+ 1	$0.248\times 8=$
$a_{-6}=7$	0.872	+ 7	$0.984\times 8=$

הפסקנו בשלב אחרון כיוון שנדרש דיוק של 6 ספרות אחר הנקודה.

<u>הוכחת השיטה להמרת שבר עשרוני לבסיס כלשהו</u>

מכפילים את השבר בבסיס :

$$\left(0.d_{-1}d_{-2}\ldots d_{-m}\right)\cdot b=\left(d_{-1}\cdot b^{-1}+d_{-2}\cdot b^{-2}+\ldots+d_{-m}\cdot b^{-m}\right)\cdot b=$$
$$=d_{-1}+d_{-2}\cdot b^{-1}+\ldots+d_{-m}\cdot b^{-m+1}$$

התוצאה שקיבלנו : d_{-1} זה החלק השלם וכל שאר הביטוי הינו שבר .

ניקח את חלק השבר של הביטוי האחרון ונכפלו ב- b ונקבל :

$$(d_{-2}\cdot b^{-1}+\ldots+d_{-m}\cdot b^{-m+1})\cdot b= \qquad d_{-2}+d_{-3}\cdot b^{-1}+\ldots\ldots+d_{-m}\cdot b^{-m+2}$$

התוצאה שקיבלנו : d_{-2} זה החלק השלם וכל שאר הביטוי הינו שבר .

באותו אופן ממשיכים לכפול בבסיס b ולקבל את שאר ה- d_{-i} .

1.2.3 מעבר מבסיס כלשהו R_1 לבסיס כלשהו R_2.

א. **מקרה כללי:** מבסיס R_1 עוברים לבסיס 10 כפי שלמדנו ותוצאה בבסיס 10 עוברים לבסיס R_2 כפי שלמדנו.

ב. מעבר בין בסיסים שהם חזקות אחד של השני

למשל :בסיס 8 16 ו-2.

להמרת מספר מבסיס נתון לבסיס בינרי אוקטלי או HEX (16) יש תפקיד חשוב במחשבים הספרתיים , מבחינת נוחיות ברישום (מחשב עצמו ברמת החומרה מכיר בסיס בינרי בלבד).

כיוון ש- $2^3 = 8$ $2^4 = 16$ הרי כל ספרה אוקטלית מתאימה ל-3 ספרתו בינריות, וכל ספרה HEX מתאימה ל-4 ספרות בינריות.

ניתן בקלות להמיר מספר מבסיס בינרי לבסיס אוקטלי : ע"י חלוקת המספר הבינרי לקבוצות. כל קבוצה בת 3 ספרות. כאשר מתחילים מנקודה הבינרית וממשיכים שמאלה (לגבי חלק השלם) וימינה לגבי חלק השבר. הספרה האוקטלית המתאימה נרשמת ליד כל קבוצה. לדוגמא :

$$\left(\underbrace{10}_{2}\ \underbrace{110}_{6}\ \underbrace{001}_{1}\ \underbrace{101}_{5}\ \underbrace{011}_{3} \leftarrow . \rightarrow \overbrace{111}^{7}\ \overbrace{100}^{4}\ \overbrace{000}^{0}\ \overbrace{110}^{6}\right)_2 = (26153\cdot 7406)_8$$

שים לב : בחלק השלם אם נוסיף אפסים משמאל לשלם , תוספת זו לא תשנה את הערך .

באופן דומה בחלק שבור אם נוסיף אפסים מימין לשבר, תוספת זו לא תשנה את הערך. (נדרש לבצע זאת כאשר לא מקבלים בקבוצה האחרונה 3 סיביות).

המרה מאוקטלי לבינרי

המרה זו נעשית בצורה הפוכה למה שעשינו לעיל, כל ספרה אוקטלית מומרת ל-3 ספרות בינריות השקולות לה. לדוגמא :

$$(673.124)_8 = \left(\underbrace{110}_{6}\ \underbrace{111}_{7}\ \underbrace{011}_{3} \cdot \underbrace{001}_{1}\ \underbrace{010}_{2}\ \underbrace{100}_{4}\right)_2$$

דוגמא להמרה מבסיס בינרי לבסיס 16:

$$\left(10\ \underbrace{1100}\ \underbrace{0110}\ \underbrace{1011} \cdot \underbrace{1111}\ \underbrace{001}\right)_2$$

כדי לקבל קבוצות של 4 נוסיף משמאל 2 אפסים ומימין 0 אחד ונקבל :

$$\left(\underbrace{0010}_{2}\ \underbrace{1100}_{C}\ \underbrace{0110}_{6}\ \underbrace{1011}_{B} \cdot \underbrace{1111}_{F}\ \underbrace{0010}_{2}\right)_2 = (2C6B\cdot F2)_{16}$$

רואים בעליל את נוחיות רשום בבסיס גבוהה יותר , כיוון שנדרשות פחות ספרות.

1.3 שיטות לייצוג מספרים בינריים.

1.3.1 מספרים בינריים ללא סימן (UNSIGNED).

מספר ללא סימן בגודל n סיביות ערכו : בין 0 ל-$\left(2^n-1\right)$ ערך המספר מחושב כפי שראינו בסעיף 1.1.1.

1.3.2 מספרים בינריים בעלי סימן.

ישנן 3 שיטות ייצוג עיקריות למספרים בעלי סימן :

- גודל וסימן (SIGN AND MAGNITUDE)
- שיטת משלים ל-1 (1'S COMPLEMENT)
- שיטת משלים ל-2 (2'S COMPLEMENT)

הערות: א. בכל 3 שיטות סיבית ה- M.S.B הינה סיבית הסימן. סיבית סימן 0 מייצגת מספר חיובי. סיבית סימן 1 מייצגת מספר שלילי.

ב. באמצעות n סיביות ניתן ליצור 2^n צרופים וזה נכון לכל השיטות. ההבדל בין השיטות הוא תחום הערכים.

1.3.2.1 שיטת גודל וסימן.

בשיטה זו הסיבית השמאלית ביותר (ה- M.S.B) הינה סיבית הסימן. שאר הסיביות מימין לסיבית הסימן מייצגות ערך. לדוגמא :

$$01001 = +9$$

$$1\underbrace{1001}_{\text{ערך}} = -9$$

בשיטה זו אם המספר הוא בעל n סיביות אזי הערך המכסימלי הוא $2^{(n-1)}-1$ והערך המינימלי הוא $-\left(2^{(n-1)}-1\right)$

בשיטה זו ל-0 יש 2 ייצוגים.

לדוגמא עבור $n=4$ $\quad 0000=0 \quad 1000=0$

הייצוג הכפול של ה- אפס מהווה את חסרון השיטה . עבור n סיביות יש 2^n-1 ערכים שונים בשל ייצוג כפול של ה-0. מסיבה זו כפי שנראה , שיטה זו איננה נוחה לביצוע פעולות חשבון. (**נרחיב בתרגול כיתה . נתאר שיטה לתיקון תוצאה**)

דוגמא : נבצע $\left(-4+1\right)$ בשיטת גודל וסימן.

1100+0001=1101

התוצאה שקיבלנו איננה נכונה (כי קיבלנו 5- במקום 3-)

טווח ייצוג מספרים – N.

$$-\left(2^{n-1}-1\right) \le N \le 2^{(n-1)}-1$$

1.3.2.2 שיטת משלים ל-1 (1'S COMPLEMENT)

הסיבית השמאלית ביותר (M.S.B) הינה סיבית סימן.

א. כאשר סימן 0 אזי המספר חיובי וערך רשום מימין לסימן.
למשל עבור $n = 4$ $0|\underbrace{111}_{\text{ערך}}$ מספר שמיוצג 7+.

ב. כאשר M.S.B. = 1 המספר הוא שלילי. הפעם מימין לא רשום ערך. כדי לדעת את ערך המספר יש להפוך את כל סיביות המספר (וזה פעולת מינוס על המספר) ואזי נקבל מספר חיובי שאת ערכו אנו יודעים לקרוא . לדוגמא : אם נקבל לאחר פעולת המשלים ל-1 : X פרושו שהמספר המקורי הוא X–.

פעולת הפוך כל הסיביות נקראת משלים ל-1.

דוגמא : נתון המספר הבא בשיטת משלים ל-1 : 1001. מצא את ערכו.

תשובה : כיוון שהמספר שלילי נבצע עליו פעולת משלים ל-1 (שהיא פעולת מינוס על המספר המקורי) ונקבל 0110 מספר זה הוא חיובי.

כפי שהסברנו ערך רשום מימין לסימן לכן ערך המספר אחרי פעולת משלים ל-1 : 6+ ומכאן שמספר מקורי (שעליו ביצענו פעולות משלים ל-1) הינו : 6- .

חסרון השיטה: ייצוג כפול ל- **0** ((נרחיב בתרגול).

לדוגמא עבור n=4 2 הצרופים 0000 ו- 1111 מייצגים את הערך 0 .

טווח ייצוג מספרים N

$$-\left(2^{n-1}-1\right) \le N \le 2^{(n-1)}-1$$

שיטת משלים ל-1 עבור מספרים שאינם שלמים

שיטת משלים ל-1 כפי שראינו עבור מספרים שלמים נכונה גם עבור מספרים לא שלמים. לדוגמא : נייצג את ערך 1.5+ במשלים ל-1 $(0\ \underbrace{1.1}_{\text{ערך}})_2 = (+1.5)_{10}$.

אם נבצע משלים ל-1 נקבל $(10.0)_2$.

טענה : זה ייצוג של 1.5- (הסדר אם נהפוך סיביות נקבל $(01.1)_2$ ופרושו שהמספר המקורי היה (1.5-).

1.3.2.3 שיטת משלים ל-2 (2'S COMPLEMENT)

כללי: שיטת המשלים ל-2 היא השיטה המקובלת ביותר במחשבים. כפי שנראה מתאימה לחוקי החשבון. בשיטה זו עבור מספר בגודל n סיביות קיימים 2^n ערכים שונים (ולא $2^n - 1$ כמו בשתי השיטות הקודמות).

פעולת משלים ל-2.

שתי שיטות למציאת המשלים ל-2 של מספר:

א. **הפוך כל הסיביות והוסף 1 לתוצאה.**

למשל:

$1000 \leftarrow (+7)\ 0111$

כעת נוסיף 1 לתוצאה ונקבל : 1001 . וזהו ייצוג של 7- במשלים ל-2 .

ב. **שיטת סריקה**

1. סרוק את המספר מימין לשמאל עד הופעת ה-1 הראשון. עבור את ה-'1' הראשון ואל תשנה את הסיביות שסרקת.
2. הפוך את כל שאר הסיביות למשל:

$011|1$

$100|1 \leftarrow$ קיבלנו 1001 כמו בשיטה א

כמו בשאר השיטות גם בשיטה זו סיבית M.S.B היא סימן.

כאשר סימן 0 אזי המספר חיובי וערך רשום מימין לסימן. למשל $+7 \leftarrow 0111$.

כאשר סימן 1 אזי המספר שלילי. כדי לדעת את ערכו יש לבצע פעולת משלים ל-2 (וזה פעולת מינוס על המספר) ואזי נקבל מס' חיובי שאת ערכו אנו יודעים לקרוא. למשל x. ואזי אנו יודעים שמספר מקורי הוא x–.

לדוגמא: 1001 אחרי משלים ל-2 נקבל: 0111 (כלומר 7+) ולכן מספר מקורי 1001 הוא 7-.

טווח ייצוג המספרים עבור מספר בגודל n סיביות בשיטת המשלים ל-2 הוא:

$$-2^{(n-1)} \le N \le 2^{(n-1)} - 1$$

למשל עבור $n = 8$ $\quad -128 \le N \le +127$

עבור מספר בגודל n מספר חיובי גדול ביותר הוא $2^{(n-1)} - 1$ ובצורה מפורשת:

$$\underbrace{011...1}_{n \text{ סיביות}}$$

המס' שלילי ביותר ערכו הוא : $-2^{(n-1)}$ בצורה מפורשת: $\overbrace{10...00}^{n \text{ סיביות}}$.

<u>הערה:</u> הסברנו, שבשיטת משלים אנו יודעים ל"קרוא" ערך של מס' חיובי. לגבי מספר שלילי מבצעים פעולת משלים ל-2 עליו ומקבלים מס' חיובי ולפי זה יודעים את ערך המס' השלילי. כלל זה נכון לגבי כל המס' השליליים <u>חוץ</u> מעבור המס' השלילי ביותר $10\ldots0$. אם נבצע משלים ל-2 עליו נקבל את אותו מספר .

<u>שיטת משלים ל-2 עבור מס' שאינם שלמים</u>

שיטת משלים ל-2 כפי שראינו עבור מספרים שלמים נכונה גם עבור מס' לא שלמים.

לדוגמא: נתון מס' $\overbrace{(0110.11)_2}^{x}$ בשיטת משלים ל-2. אם נבצע משלים ל-2 נקבל $(1001.01)_2$ (כדי לאמת שזה באמת $-x$ הרי שאם נחבר אותם נקבל 0 (. לנשא אם מתקבל לא מתייחסים. נלמד בתרגול).