

IL 8503267

מערכת הירארכית מפולגת לבקרת קרינה סביבתית

ד' ברק

טכת תשמ"ה - לנואר 1985

English title and abstract included



קריה למחקר גרעיני - נגב

הוועדה לאנרגיה אטומית

ISRAEL ATOMIC ENERGY COMMISSION, NUCLEAR RESEARCH CENTRE-NEGEV

#### LEGAL NOTICE

This publication is issued by the Nuclear Research Centre - Negev, Israel Atomic Energy Commission. Neither the Nuclear Research Centre - Negev, nor its contractors, nor any person acting on their behalf or on behalf of the Israel Atomic Energy Commission

make any warranty or representation, express or implied, with respect to the accuracy, completeness, or usefulness of the information contained in this publication, or that the use of any information, apparatus, method or process disclosed in this publication will not infringe upon privately owned rights, or

assume any liability with respect to the use of, or for damages resulting from the use of any information, apparatus, method or process disclosed in this publication.

Mention of commercial products, their manufacturers, or their suppliers in this publication does not imply or connote approval or disapproval of the products by the Nuclear Research Centre - Negev or by the Israel Atomic Energy Commission.

#### הודעה משפטית

פרסום זה מוצא לאור על־ידי הקריה למחקר גרעיני—ננב, הוועדה לאנרגיה אטומית של ישראל. הקריה למחקר גרעיני — ננב והפועלים מטעמה או כשמה, או מטעם הוועדה לאנרגיה אטומית של ישראל או בשמה

אינם אחראים או ערבים, אחריות או ערבות כלשהי, במפורש או שלא במפורש, לדיוק, לשלמות ולשיר מושיות של המידע הכלול בפרסום זה או לכך שהשימוש בכל מידע, מכשיר, שיטה או תהליך הנתון בפרסום זה לא יפגע בזכויות פרטיות של אחרים,

ואינם מקבלים על עצמם כל התחייבות בין ה" שימוש או נזקי השימוש בכל מידע, מכשיר, שיטה או תהליך הנתון בפרסום זה.

הציון של מוצרים מסחריים, של יצרניהם או של ספקיהם בפרסום זה אין משמעו אישור המוצרים על־ידי הקריה למחקר גרעיני — ננב או על־ידי הוועדה לאנרגיה אטומית של ישראל.

This publication and more information about its subject matter may be obtained at the following address:

Scientific and Technical Information Department  
Nuclear Research Centre - Negev  
P. O. Box 9007  
84 190 Beer-Sheva, ISRAEL

ניתן להשיג את הפרסום הזה וכן מידע נוסף בנושא הפרסום על־ידי מנייה לכתובת:

יחידת המידע  
קריה למחקר גרעיני — ננב (קמ"ג)  
ת"ד 9007

באר־שבע 84 190

מערכת הירארכית מפולגת לבקרת קרינה סביבתית

(חיבור לקבלת תואר מגיסטר למדעים בהנדסה, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב,  
באר-שבע, תשרי תשמ"ד)

ר' ברק

טבת תשמ"ה - ינואר 1985

#### תקציר

מוצג פתרון חושני למערכת איסוף נתונים ובקרה בהיקף גדול, בעלת זמינות ואמינות גבוהות במיוחד, זמן תחזוקה נמוך ושרירות גבוהה. המערכת יושמה לפתרון בעיית המרידה והבקרה של קרינה סביבתית במתקן גרעיני. הפיזור הגיאוגרפי של הגלאים במתקן וררישות הבקרה התמורות, הכתיבו ארכיטקטורה של מערכת מפולגת והירארכית, הבנויה משלוש רמות, כאשר בכל רמה מודולים. ברמה 1 נמצאים מורולי בקרה המבצעים מנייה של גלאים גרעיניים ופעילות בקרה מקומית. ברמה 2 מרכזות קבוצה, המאפשר ריכוז נתוני מורולי בקרה, תצוגה מקומית ותקשורת. ברמה 3 נמצא מחשב המתקן, המאפשר קשר נוח עם כל המודולים במערכת ותצוגה נוחה למפעילי המתקן. במסגרת העבודה תוכנה המערכת, פותחו המודולים השונים והמערכת נבנתה והופעלה. המערכת פועלת בהצלחה כשנתיים ובתקופה זו הוכחה האמינות והשרירות של המערכת וכך זמן התחזוקה הנמוך ונוחיות התפעול.

---

נחקבל: רצמבר 1982

מוצא לאור ללא עריכה מרעית של יה"מ/מ"ל

## DISTRIBUTED HIERARCHICAL RADIATION MONITORING SYSTEM

(M.Sc. thesis, Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva, September 1983)

Dov BARAK

January 1985

## ABSTRACT

A solution to the problem of monitoring the radiation levels in and around a nuclear facility is presented in this paper. This is a private case of a large scale general purpose data acquisition system with high reliability, availability and short maintenance time. The physical layout of the detectors in the plant, and the strict control demands dictated a distributed and hierarchical system. The system is comprised of three levels, each level contains modules. Level one contains the Control modules which collect data from groups of detectors and execute emergency local control tasks. In level two are the Group controllers which concentrate data from the Control modules, and enable local display and communication. The system computer is in level three, and it enables the plant operator to receive information from the detectors and execute control tasks. The described system was built and is operating successfully for about two years.

---

Received: December 1982.

Published without Scientific Editing by the NRCN  
Scientific and Technical Information Department.

עמודתוכן העניינים

1	מבוא	1
1	מטרת העבודה	1.1
2	איפיון המערכת הנדרשת	1.2
3	תצורות אפשריות למערכת	2
3	תצורות אפשריות - סקר ספרות	2.1
5	תצורה מומלצת - מערכת הידארכית מפוזרת	2.2
7	מאגרי נתונים	2.3
9	זיור	2.4
9	עמידות בקרינה גרעינית	2.5
10	חשובים שונים - עיבוד מתימטי של האותות	2.6
17	תקשורת במערכות בקרה מפולגות	3
17	כללי	3.1
18	סוגי תקשורת אפשריים	3.2
19	ארכיטקטורת שבע השכבות - מודל OSI לרשתות תקשורת	3.3
23	התקשורת שנבחרה למימוש המערכת	3.4
25	מימוש התקשורת כמערכת	3.5
27	מבנה המערכת - צורת המימוש	4
27	כללי	4.1
28	מבנה	4.2
32	מרכזת קבוצה	4.3
34	יחידת הבקרה	4.4
37	מרכזת התצוגות	4.5
38	בקר לולאה - פרוטוקול תקשורת	4.6
40	מערכת המחשב	4.7
45	סיכום	5
47	מסקנות והמלצות	6
48	הבעת תודה	
49	נספח 1 תיאור טכני מפורט של המערכת	
55	נספח 2 גלאי הקרינה במערכת	
67	סימוכין	

1 מכנא

1.1 מטרת העבודה

העבודה באה להציג פתרון לבעיה של בקרת קרינה סביבתית. במתקן גרעיני ניתן להציג בעיה זו כמקרה פרטי של מערכת איסוף נתונים בתיקף גדול. נבדקו תחילה מונע קיימת בעיה במערכת כזו.

הדרישות בדרך כלל ממערכת כזו הן די חמורות: אמינות גבוהה, זמינות גבוהה, זמן אחזקה (MTTR) נמוך ומחיר סביר. מאפיין נוסף למערכת כזו הוא ריבוי נקודות מדידה המפוזרות על-פני שטח גדול יחסית והצורך בריכוז כל המידע מנקודות אלה במערכת אחת. מובן מהאמור לעיל, שקיימת סתירה מסויימת בין דרישות האמינות מהמערכת לבין היקפה, מורכבותה והפיזור שלה.

בספרות המרעית והטכנית נוכל למצוא פתרונות רבים למערכות איסוף נתונים. המערכות יכולות להיות ממורכזות<sup>(1)</sup>, כלומר מחשב מרכזי המכיל מערכות קלט-פלט רבות והוא דוגם את כל הנקודות כשדה ומעבד בעצמו את הנתונים המדגמים, ועל-פי ערכיהם מבצע פעולות שונות. המערכת יכולה להיות בנוייה ממכשירים בודדים הפזורים בשדה<sup>(2)</sup>, כאשר תפוקותיהם מועברות בצורת אותות אנלוגיים למדידים בחדר הפיקוד. כמו-כן ישנן מערכות שאינם כוללות קשר בין מכשירי המדידה בשדה וחדר הפיקוד<sup>(2)</sup>, אלא על-ידי מפעילי המתקן בלבד.

המערכת שתואר להלן אינה משתייכת לאף אחת מהאפשרויות שצויינו כאן, ואנו נראה שהיא מהווה פתרון טוב יותר מהן להשגת הקריטריונים הגבוהים של אמינות, זמינות ומחיר שנדרשו מאתנו.

עבודה זו המוצגת להלן, בעלת ארכיטקטורה של הירארכיה ופיזו, למרות שהיא מהווה פתרון של מקרה פרטי בשדה איסוף הנתונים, יש לה השלכות לגבי מערכות איסוף נתונים בכללותן וכן ניתן לי שם חלק מהרעיונות שבה במערכות בקרה כלליות.

1.2 איפיון המערכת הנדרשת

- מערכת הבקרה המובאת כאן כדוגמה מאופיינת על-ידי הדרישות הבאות:
- (א) מדידת קרינה על-ידי 100-200 גלאים;
  - (ב) אפשרות הרחבת מספר הגלאים במקרה הצורך;
  - (ג) ריכוז נתוני הגלאים בחדר בקרה, תוך שמירה על תצוגה נוחה למפעיל ורישום הנתונים;
  - (ד) הפעלת אתראות ו/או ממסרים לפעולה אוטומטית באיזור המבוקר;
  - (ה) זמן תגובה של 1 שנייה או פחות.
  - (ו) מערכת מודולרית וקלה לתחזוקה;
  - (ז) המשך פעולת המערכת גם ללא מחשב מרכזי;
  - (ח) זיהוי תקלות כמערכת באופן אוטומטי;
  - (ט) אי-רגישות להפסקות חשמל;
  - (י) שילוב מערכת בקרת הקרינה במערכת בקרה כללית;
  - (יא) חיווט מינימלי בין השדה לחדר הבקרה.

## 2 תצורות אפשריות למערכת

### 2.1 תצורות אפשריות - סקר ספרות

ניתן להפריד את מערכות הבקרה ואיסוף הנתונים לשתי קטיגוריות עיקריות:

(א) מערכות מבוקרות מחשב מרכזי;

(ב) מערכות ללא מחשב מרכזי.

במערכת שלנו נבחר הפתרון של מערכת מבוקרת מחשב מרכזי, וזאת מהסיבות הבאות:

(א) מחשב מרכזי מאפשר קשר בוח ופשוט בין המפעיל למחקר, מסוגל להעביר למפעיל

נתונים מעובדים ו"לעוסיים" על-מנת לאפשר לו החלטה מהירה ונכונה.

(ב) מחיר נמוך יחסית של מערכת מחשב בינונית, ואפשרויות שימוש במחשב זה לפונקציות

בקרה נוספות במתקן.

מסקירת הספרות נראה שבקטיגוריה זו של מערכות איסוף נתונים מבוקרות מחשב קיים

מגוון רב של תצורות אפשריות.

המערכת יכולה להיות ממורכזת, כלומר המחשב המרכזי יקבל את כל הקריאות מהמרידים

בשרה (גלאי הקרינה במקרה זה), יבצע מדידה שלהם תוך שימוש בצירור היקפי שלו, מתמרים

אנלוגיים לספרתי יחד עם מרכבי כניסות מחאימים, או מערכות למניית אירועים

(event counter).

המחשב מבצע סריקה מחזורית של כל ערוצי הכניסה, מעבר את הנתונים לתצוגה מתאימה

למפעילים ועל-פי הנתונים מפעיל מערכות אתראה ונעילות שונות במתקן, תוך שימוש בצירור

פלט היקפי שלו מסוג מחמר ספרתי לאנלוגי ומערכות תפוקה ספרתית (digital outputs).

מערכת ממורכזת כזו היא המערכת של חברת CDC המבוססת על מחשב CDC - 1700 ומערכת

הפעלה AUTRAN 2.0<sup>(1)</sup> (מערכת כזו מוצבת בתחנה כוח של חברת החשמל בתל-אביב).



מערכת זו היא בעלת חסרונות רבים:

(א) כל תקלה במחשב המרכזי משתקת את כל מערך המדידה ומבטלת את כל מעגלי ההגנה

וההתראה המופעלים על-ידי המחשב;

(ב) המחשב עמוס בתכנית סריקה אשר במקרה של מדידים רבים הזקוקים לקצב סריקה מהיר

אינה משאירה זמן רב לעיבוד הנתונים ובמקרים מסויימים קצב הסריקה המתקבל יהיה

איטי מזה הנדרש;

(ג) חדר הבקרה, (או חדר המחשב המרכזי), מועמס בציור היקפי רב, בכבלים ובארונות

חיבורים רבים. כמו-כן כמות הכבלים מהשדה למחשב רבה מאוד;

(ד) מכין החסרונות של מערכת זו החמור ביותר מבחינתנו הוא האמינות והזמינות הנמוכה

של המערכת.

האלטרנטיבה למערכת הממוזנת היא מערכת מפורזת, כלומר מערכת שבה עיבור הנתונים

מהשדה לא נעשה במחשב המרכזי אלא ביחידות מפורזות (2,3,4).

כאשר אנו מדברים על יחידות מפורזות הכוונה היא הן לפיזור מבחינה גיאוגרפית, כלומר

פיזור תת-יחידות של מערכת הבקרה על פני שטח המתקן המבוקר והן לפיזור מבחינת השליטה

והאחריות.

לפיזור הגיאוגרפי יש חשיבות ויתרונות, אולם עיקר היתרון במערכת המפורזת נובע

מהפיזור מבחינת שליטה ואחריות, ככל שנפזר את ה"אינטליגנציה" במערכת כך תהפוך

המערכת פחות פגיעה כתוצאה מחקלה באלמנט בודד, כיוון ששוב אין לנו מרכז נתונים שכל

האינפורמציה מייבט לעבור דרכו, אלא יש לנו מרכז נתונים המרכז את רוב האינפורמציה,

ולעיתים רק אינפורמציה מעובדת, כאשר יחידות המפורזות כשדה אוספות את הנתונים,

מעבדות אותם עיבוד ראשוני, בהתאם לנתונים מכצעות פעילויות שונות שהן חיוניות

מבחינת בטיחות, ומעבירות, על-פי דרישה, נתונים מעובדים למחשב המרכזי.

המחשב המרכזי משמש לקשר נוח עם מפעילי המתקן, מציג את הנתונים המעובדים לאחר עיבוד

נוסף אצלו, וכמו-כן מוריד הוראות ליחידות המפורזות לגבי פעולות יזומות שעליהן לבצע.

יש להדגיש שבמערכת מפורזת המחוכנת היטב, פעולה תקינה של המחשב המרכזי אינה חיונית

לבקרה תקינה של המתקן. כמו-כן תקלה כאחת היחידות המפורזות תשפיע אך ורק על קטע

מהמתקן ולא הפגע בכלל המערכת.

## 2.2 תצורה מומלצת - מערכת הירארכית מפורזת

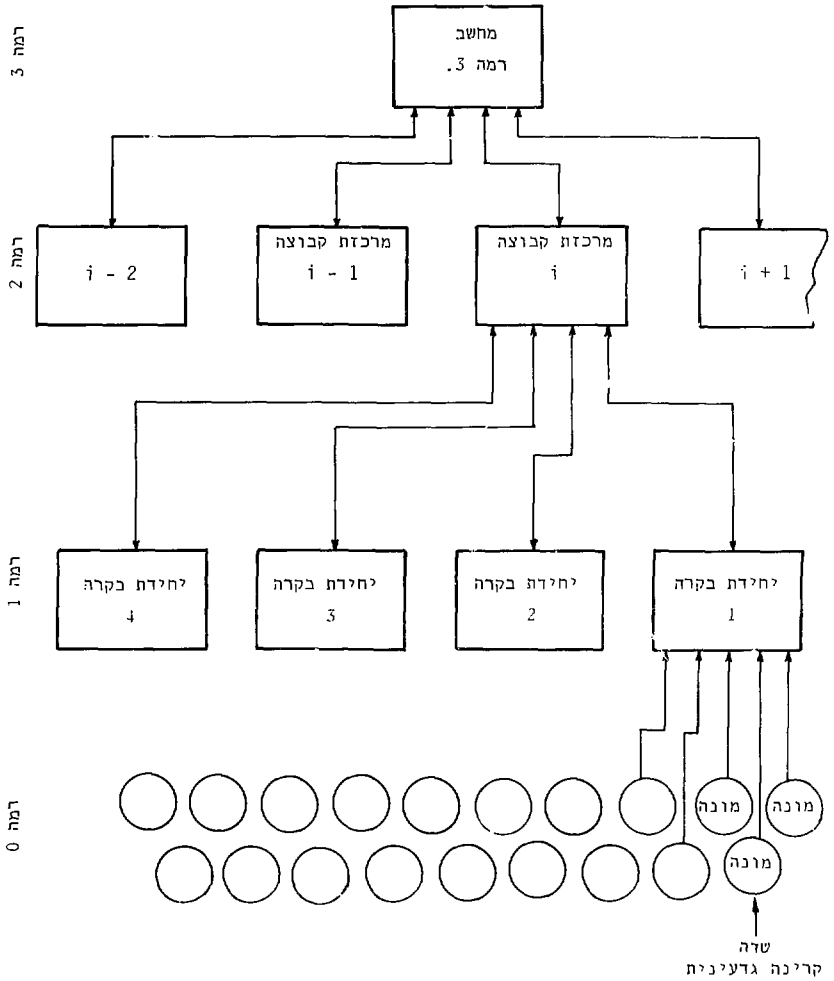
התצורה שנבחרה למימוש העבודה היא תצורה של מערכת הירארכית מפורזת. (ראה ציור 2.1) במערכת כזו קיימות כמה רמות של בקרה. בדמה העליונה ביותר נמצא מחשב המתקן, בו מרוכזים כל הנתונים שעל מפעילי המתקן לדעת, ומכאן (אם כי לא רק מכאן) ניתן לשלוט על פעילות המתקן המבוקר.

מחשב המתקן מקיים קשר עם מרכזות קבוצה המהוות רמה אחת מתחתיו. כך למשל אם המחשב מהווה רמה 3 הרי מרכזות הקבוצה מהוות רמה 2. אלה הן תחנות שכל אחת מהן מקיימת קשר עם מספר יחידות בקרה מפורזות.

מרכזת הקבוצה אוספת מידע מהקבוצה של יחידות ניטור, מאפשרת להציג נתונים אלה מקומית ומאפשרת שליטה על יחידות הבקרה הכפופות לה.

יחידת הבקרה נמצאת ברמה אחת מתחת למרכזת הקבוצה, כלומר ברמה 1. כאן נעשה הטיפול בציור השרה עצמו, אשר אותו ניתן להגדיר ברמה 0 (ראה ציור 2.1). יחידת הבקרה אוספת נתונים מהשדה, במקרה שלנו ממונים גרעיניים, מעבדת נתונים אלה עיבוד ראשוני ועל-סמך הנתונים רשאית, אם כי בצורה מוגבלת, גם לבצע פעולות בקרה שונות. למשל, אם יחידת בקרה המופקדת על 24 מונים מגלה שכמה מהם אינם תקינים, או שכמה מהם עברו בקריאתם מעבר לסף הנתון, הרי יחידת הבקרה תוכל להפעיל ממסרי אתראה מתאימים ואולי אף להפעיל ממסר שיבצע פעולות חירום כלשהי במתקן, וזאת מבלי לערב את מרכזת הקבוצה.

הנתונים המעובדים מאוכסנים בזכרון של יחידת הבקרה ועל-פי ררישה מועברים אל מרכזת הקבוצה. מרכזת הקבוצה מאכסנת את כל הנתונים אותם קיבלה מיהידות הבקרה הכפופות לה. כאן מתבצעות מספר פעולות הקשורות בנתונים אלה. ראשית, ניתן להציג נתונים אלה מקומית לפי דרישת מפעיל. כמו-כן מרכזת הקבוצה בורקת את הנתונים וגם היא רשאית להפעיל ממסרי החראה (או פעולה) וזאת על-סמך הערכים אותם קיבלה מיחידת הבקרה והשוואתם לספיק רצויים.



ציור 2.1 מערכת בקרה הירארכית מפולגת.

מרכזת הקבוצה מעבירה את כל נתוני יחידות הבקרה הכפופות לה אל המחשב המרכזי וזאת על-פי דרישה ממונה.

כבר מתואר מצומצם זה של התצורה המוצעת נראה שלמערכת חסינות מסוימת נגד תקלות וזאת מהטעמים הבאים:

(א) במקרה של תקלה, ולו גם חמורה, במחשב רמה 3, יכולים מפעילי המתקן לקבל נתונים על רמות הקרינה הנ על-ידי ממסרי ההתראה והפעולה המופעלים מיחידות הבקרה והן ממרכזות הקבוצה.

(ב) תקלה במרכזת קבוצה גם היא אינה מסוכנת וזאת משום שקיימות כמה מרכזות קבוצה, כך שאם אחת מהן יוצאת מכלל פעולה הרי רק לגבי קטע מהמתקן אין לנו נתונים, זאת ועוד - גם כאשר מרכזת הקבוצה אינה מתפקדת - יחידות הבקרה ממשיכות לאגור נתונים מהמונים, ובמירה שתהיינה קריאות חריגות מהשרה, יחידות הבקרה הנוגעות בדבר תפעלנה מיסרי התראה ופעולה בהתאם לצורך, ולמרות שלא נדע מהן הקריאות המדויקות מאותם מונים מובטח לנו לפחות הגנה חלקית למתקן.

נראה עתה השפעת תקלה ביחידת בקרה. כאן ברור שבמקרה של תקלה כזו לא תוכל להתנועע קריאה מהמונים הנוגעים בדבר, אולם יש לזכור שבמערכת מתוכננת הייב רק חלק קטן מהמונים במתקן מחובר לכל יחידת בקרה כך שנאבד נתונים רק לגבי קטע מהמתקן. ניתן בעזרת תכנון מתאים לדאוג לחיוט המונים בצורה כזו שאיזור מסוייב במתקן ינוטר על-ידי מונים הקשורים לכמה יחידות בקרה.

### 2.3 מארגי נתונים

מרכזת הקבוצה ויחידת הבקרה שתיהן זקוקות לנתונים קבועים לגבי קטע המתקן אותו הן מבקרות. נתונים לריגמה הם תחומי העבודה של המונים היות שישנם מונים מסוגים שונים וקצבי המנייה שלהם שונים. כמו-כן על יחידות אלה לדעת מהן הרמות המותרות לכל מונה וזאת על-מנת להפעיל ממסרים להתראה בעת חריגת המונים מהמצב הרצוי.

ניתן היה לאכסן נתונים אלה בזכרון לקריאה בלבד - ROM, אולם הדרישות מהמערכת הן תחזוקה מהירה ומודולריות, וזה דורש שיחידות הבקרה ומרכזות הקבוצה יהיו תליפיות וניתן יהיה להעבירן ממקום למקום.

הפתרון המוצע לבעיה זו הוא: ככל מרכזת קבוצה יהיו בזכרון מטיפוס ROM כל הטבלות של כל המתקן, היות שיחסית אין הרבה מרכזות קבוצה. כזמן הכנסת מרכזת הקבוצה אל ארון המיכשור בו היא עתידה לפעול היא מקבלת מהמחבר בארון נתון לגבי מספר הארון - או האיזור במתקן בו שובצה. על-פי מספר זה בוחרת מרכזת הקבוצה את הטבלה בה עליה להשתמש.

פתרון זה אינו מתאים ליחידת הבקרה כיוון שיש הרבה יחידות בקרה ומאגר הנתונים יהיה גרול מרי. לכן יחידת הבקרה ברגע הפעלתה הראשונית תסמן למרכזת הקבוצה שהיא חדשה וזו מצדה תטען לתוך יחידת הבקרה את הטבלה הנוגעת לה.

קיימים מספר נתונים אשר אינם יכולים להיות קבועים בזכרון מטיפוס ROM, כמו למשל סימון מונה מסויים במצב מבוטל עקב תקלה זמנית או העברתו לתחזוקה. נתונים אלה מוחזקים ב-RAM הן במרכזת הקבוצה והן ביחידת הבקרה. במקרה של החלפה יחידת הבקרה היא תקבל הנתונים ממרכזת הקבוצה בהפעלתה הראשונית. אם תוחלף מרכזת הקבוצה היא תאסוף נתונים אלה מכל יחידות הבקרה הכפופות לה בהפעלתה הראשונית.

אנו רואים שיצרנו כאן מאגר נתונים משותף למרכזות הקבוצה וליחידות הבקרה וזאת על-מנת להגדיל את שרידות הנתונים במקרה של חקלה. מובן שבמקרה של תקלה משותפת למרכזת הקבוצה וליחידות הבקרה יאבד לנו מאגר נתונים זה אולם גם במקרה זה יש פתרונות:

(א) שימוש במערכי מחול (default) המצויים בזכרון מטיפוס ROM במרכזת הקבוצה;  
(ב) טעינת הטבלות ממשחב המתקן אל מרכזות הקבוצה או טעינה ידנית שלהן מהלוח הקדמי של מרכזות הקבוצה על-ידי המפעיל.

קיימות כמובן אפשרויות נוספות לפתרון בעיה זו של שרידות הנתונים. פתרון אפשרי הוא שימוש בזכרונות שאינם נמחקים (non volatile RAM). החסרון בשיטה זו הוא בכך, שבמידה שנרצה להעביר יחירות בקרה מנקודה לנקודה כמערכת לצורך תחזוקה למשל, הרי יחידת הבקרה "תגרור" אתה למקומה החדש את הנתונים מן הנקודה הקודמת, ואם למשל הוגדר שם מרנה מספר 3 במצב "אחזקה", כך שאין להתחשב בו, הרי בנקודה החדשה אליה הועברה יחידת הבקרה התעלמות ממונה מספר 3 יכולה להיות הרסנית.

#### 2.4 זיורד

למרות שלא נראה קשר הגיוני בין תצורת מערכת הבקרה לבין הזיורד שלה, מן הראוי לציין שחלק בלתי נפרד מעקרונות המערכת מהווה המודולריות שלה והאפשרות להחליף בקלות ובמהירות תת-מערכות שונות.

יש לתכנן המערכת בצורה כזו, שהחלפת יחירת בקרה או מרכזת קבוצה תוכל להעשות בקלות ובזמן קצר על-ידי מפעילי המערכת.

זיורד המערכת המתוארת יוסבר בצורה מפורטת כנספח 1. כפרק זה רק הנוגש הקשר בין זמן ממוצע לחיקון תקלה (MTTR) ובין זיורד מודולרי של המערכת תוך שימוש ביחידות מתקנות.

#### 2.5 עמידות בקרינה גרעינית

במכשור אלקטרוני, המשתמש בדכיבי מצב מוצק וזכרונות, צפויים נזקים כתוצאה משרה קרינה מייננת כרמות גבוהות. הדכיבים עלולים להפסיק לתפקד בכלל או באופן חלקי וזכרונות עלולים להימחק. באפליקציה המתוארת שדות הקרינה נמוכים ככמה סדרי גודל מהרמות הגורמות נזקים כאלה, ולכן לא היה צורך באמצעים נגדיים.

2.6 חישובים שונים - עיבוד מתימטי של האותות

נבחן עתה שנית את המסלול אותו עוברים האותות מן השדה אל המפעיל. נתחיל בשדה המדידה. אנו יכולים להגדיר כל נקודה במתקן בצורות שונות. לשם פשטות נגדיר אותה בעזרת שלוש הקואורדינטות  $xyz$  במערכת קרטזית. מוכן שבאופן מעשי לא נצמיד לנקודה בשדה דווקא קואורדינטות אלה, אלא מציינים מוכרים יותר למפעילי המתקן כמו חדר, איזור, קומה וכו'.

בכל נקודה במרחב קיים שדה קרינה  $R$  שהוא משתנה בזמן  $R(x, y, z, t)$ . כל יחידת בקדה מודדת  $N$  נקודות בשדה שהן תת-מערכת מתוך כלל הנקודות  $R$ . לנקודות אלה קואורדינטות המפוזרות באופן אקראי. שדה הקרינה בכל נקודה נמדד על-ידי איסוף הספירות במשך זמן איסוף  $T_{conv}$ , כך שבעצם אנו מקבלים שדה ממוצע שהוא אינטגרל של השדה הרגעי בזמן  $t_1$ .

$$\bar{R}(x, y, z, t_1) = \frac{1}{T_{conv}} \cdot \int_{t_1}^{t_1 + T_{conv}} R(x, y, z, t) dt \quad [2.1]$$

$N_1$  נקודות שנמדדות בכל יחידת בקרה מהוות וקטור בעל אורך  $N_1$ . בכל זמן קבוע שולחת יחידת הבקרה וקטור של שדות ממוצעים  $\bar{R}$ .

$L$  הווקטורים מ- $L$  יחידות בקרה מגיעים למרכזת הקבוצה ומצטרפים שם לווקטור ארוך בעל אורך  $N = L \cdot N_1$ .

בכל פרק זמן  $t_{tR}$  מועבר וקטור כזה אל מחשב רמה 3. הווקטורים מצטרפים למטריצה כאשר כל עמודה בה היא וקטור המצב שהוא אינטגרל של שדה הקרינה בזמן מסויים. עמודות עוקבות במטריצה נדגמו בזמנים עוקבים.

$$M = \begin{bmatrix} \bar{R}(x_1 y_1 z_1 t_1); \bar{R}(x_1 y_1 z_1 t_2) & \bar{R}(x_1 y_1 z_1 t_m) \\ \bar{R}(x_2 y_2 z_2 t_1); & \\ \bar{R}(x_n y_n z_n t_1) & \bar{R}(x_n y_n z_n t_m) \end{bmatrix} \quad [2.2]$$

אם נרצה לקבל מושג לגבי שדה הקדינה הרגעי כפי שהוא משתנה בזמן בנקודה מסוימת, הקירוב הטוב ביותר שנוכל לקבל הוא על-ידי השררה המתאימה לנקודה זו במטריצה  $M$ .

לעיתים נרצה לבצע צמצום מסויים של הנתונים הנאספים וזאת על-ידי מיצוע נוסף, כלומר, סיכום העמודות במטריצה זו עם זו לקבלת עמודה אחת מכל מטריצה ובאופן מעשי זהו ממוצע של שדה הקרינה לזמן ארוך יותר. מטריצת המצב M היא כעצם הנתונים הגולמליים שלנו. גם לאחר סינון נוסף בוכל הנית שממדיה הם: M·N.

הנתונים המעובדים שמעניינים אותנו יכולים להיות שורה מסוימת במטריצה שהיא השתנות שדה הקרינה בנקודה כלשהי, או מטריצה אחרת המראה את שדה הקרינה בזמן מסויים אולם בתלות בקואורדינטות. מטריצה זו תראה כך:

$$M_1 = \begin{bmatrix} \bar{R}(x_1 y_1 z_1 t_1) ; \bar{R}(x_2 y_1 z_1 t_1) & \bar{R}(x_p y_1 z_1 t_1) \\ \bar{R}(x_1 y_2 z_1 t_1) ; & \\ \bar{R}(x_1 y_3 z_1 t_2) ; & \\ \bar{R}(x_1 y_\ell z_1 t_1) ; & \bar{R}(x_p y_\ell z_1 t_1) \end{bmatrix} \quad [2.3]$$

והיא נוצרת על-ידי מניפולציות של עמודה בודדת במטריצה הגלמית כאשר אנו לוקחים חלק מהעמודה ומפעילים עליו את המניפולציה על-ידי הגדרת מטריצת הקואורדינטות הרצויות לנו:

$$C_1 = \begin{bmatrix} (x_1 y_1 z_1) ; (x_2 y_1 z_1) ; & (x_p y_1 z_1) \\ (x_1 y_\ell z_1) & (x_p y_\ell z_1) \end{bmatrix} \quad [2.4]$$

את מטריצת  $C_1$  ניתן גם לרשום בצורת אוסף המקומות של הקואורדינטות הרצויות על-פני העמודה במטריצה המקורית M:

$$C_1 = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{21} & & & J_{p1} \\ & J_{12} & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ J_{1\ell} & & & & J_{p\ell} \end{bmatrix} \quad [2.5]$$



כאשר J, נותן מקום בעמודה למשל, אם נקבל:

$$C_1 = \begin{bmatrix} . & 3 & 4 \\ 7 & 2 & 6 \\ 10 & 13 & 9 \end{bmatrix} \quad [2.6]$$

הרי המטריצה M1 שתתקבל כתוצאה מהפעלת ההתמרה תהיה:

$$M1 = \begin{bmatrix} \bar{R}(x_1 y_1 z_1 t_1) ; \bar{R}(x_3 y_3 z_3 t_1) ; \bar{R}(x_4 y_4 z_4 t_1) \\ \bar{R}(x_7 y_7 z_7 t_1) ; \bar{R}(x_2 y_2 z_2 t_1) ; \bar{R}(x_6 y_6 z_6 t_1) \\ \bar{R}(x_{10} y_{10} z_{10} t_1) ; \bar{R}(x_{13} y_{13} z_{13} t_1) ; \bar{R}(x_9 y_9 z_9 t_1) \end{bmatrix} \quad [2.7]$$

כלומר על-ידי התמרה מתאימה, תוך שימוש במטריצת C1 שהיא אופיינית למבנה הגיאומטרי של המתקן המבוקר וכן להקציית המונים במתקן ביחידות הבקרה ומרכזות הקבוצה השונוה, נקבל מטריצות M1 שהן מבטאות את שדה הקרינה הנמדד בפונקציה של הקואורדינטות. אם נרצה לבדוק רק גורמים חדשים שהופיעו בשדה הקרינה של המתקן, הרי נרצה להחסיר את הרקע הקבוע, ולכן נגדיר מטריצה B1 שהיא זהה בחלוקת הקואורדינטות שלה ל-M1 אולם כוללת את קריאות הרקע במעב רגיל בכל המונים. על-ידי החסרת הרקע נקבל את מטריצת הקרינה נטו:

$$M2 = M1 - B1 \quad [2.8]$$

המימדים של האיברים במטריצה זו הם ספירות ל- $T_{conv}$  שניות על-ידי חלוקה סקלרית של כל המטריצה ב- $T_{conv}$  נקבל ספירות לשנייה לכל מונה, ועל-ידי הכפלה בקבוע מתאים לכל מונה נקבל תיקון ליעילות המונה והקריאה תהפוך להתפרקויות לשנייה. במירה שכל המונים זהים הרי שהקבוע הוא אחר לכל המטריצה וזוהי הכפלה פשוטה של מטריצה בסקלר. אם המונים אינם זהים הרי אנו מאכסנים קבוע יעילות ייחודי לכל מונה ומכפילים בו את קריאת המונה.

עתה קבלנו מטריצה, או מטריצות, של שדה קרינה נטו בהתפרקויות לשנייה, שהאיברים בהן מסוררים על-פי הקואורדינטות במתקן. נראה מהי האינפורמציה הנוספת שנוכל לקבל ממטריצות אלו.

נקח לדוגמה הופעת מקור נקודתי חדש במקום כלשהו במתקן. תופעה זו תקרה כאשר קרית תקלה ובשפך חומר מזוהם, או שחומר מזוהם מועבר ממקום למקום. אנו אומרים שמופיע מקור קרינה בעל עצמה S התפרקויות לשניה והוא ממוקם בקואורדינטות  $x_s, y_s, z_s$ . לשם פשטות נניח עבודה בשני מימדים כלבד, כלומר נניח z קבוע. מהו השדה אותו יתרום המקור לכל גלאי ברשת הגלאים: עצמת השדה יורדת לפי  $\frac{1}{r^2}$  כאשר z הוא המרחק בין גלאי ומקור. איננו יודעים את עוצמת המקור S ואת מקומו, אולם מיד נראה שניתן להגיע בקלות יחסית לערכים אלה מתוך הקריאות כמונים שבשטח. מובן שקירוב ראשון למקום המקור הוא הגלאי שנותן את הקריאה הגבוהה ביותר. כרוב המקרים זאת גם אינפורמציה מספקת. במידה שאנו רוצים באיתור מדוייק יותר, נחפש את שלושת המונים בעלי הקריאות הגבוהות ביותר, ונרשום את משוואות עצמת הקרינה בכל אחד מהם:

$$R_1 = \frac{K}{r_1^2} \quad [2.9]$$

כאשר:

r - מרחק גלאי-מקור

R - שדה קרינה

K - קבוע

$$r_1^2 = \frac{K}{R_1} \quad [2.10]$$

נניח קואורדינטות המקור:  $y_0, x_0$ . אזי:

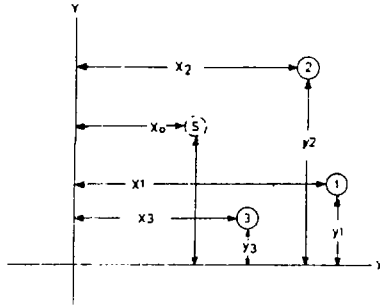
$$\frac{K}{R_1} = (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 = x_1^2 - 2x_1x_0 + x_0^2 + y_1^2 - 2y_1y_0 + y_0^2 \quad [2.11]$$

$$\frac{K}{R_2} = x_2^2 - 2x_2x_0 + x_0^2 + y_2^2 - 2y_2y_0 + y_0^2$$

$$K\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) = x_1^2 - x_2^2 + x_0(2x_2 - 2x_1) + y_1^2 - y_2^2 + y_0(2y_2 - 2y_1)$$

$$K\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3}\right) = x_2^2 - x_3^2 + x_0(2x_3 - 2x_2) + y_2^2 - y_3^2 + y_0(2y_3 - 2y_2)$$

יש לנו 2 משוואות בשני נעלמים וקל לקבל מתוכם את  $y_0, x_0$ .



ציור 2.2 זיהוי נקודותי על-פי שרות קרינה.

אנו רואים שכעזרת עיבוד מתאים ניתן לקבל מיפוי של מהור נקודתי המופיע בתווך שבין המונים. יש להדגיש שלצורך כך הנחנו שהבליעה בין המקור למונה מתאימה לאוויר והיא אחירה בכל התווך.

עיבוד נוסף למטריצת הגלאים M2 הוא על-ידי השוואה עם סיפים מותרים לכל גלאי וגלאי. במקרה זה אנו משווים את הנטריצה עם שתי מטריצות סיפים L1 L2. התוצאה היא מטריצת

מצב שאיבריה יכולים להיות:

0 - אין מעבר סף;

1 - עבר סף ראשון;

2 - עבר סף שני.

חישובי תפוקה וקצב:

נברוק עתה מהו הזמן שדרוש לרגימה ועיבוד של N ערוצים ביחידת בקרה. הדגימה עצמה

נעשית על-ידי צבירת ספירות במונה במשך זמן  $T_{conv}$ , אנו מונים במקביל N מונים, כך

זמן איסוף וקטור בעל N איברים הוא:

$$T_p(N) = T_{conv} + T_{tot} + N \cdot T_{mov} + N \cdot Tch \quad [SEC] \quad [2.12]$$

כאשר:

$T_{conv}$  - זמן מנייה, זמן איסוף;

$T_{tot}$  - זמן טיפול והכנה לכל הווקטור;

$T_{mov}$  - זמן מעבר ערוץ בודד ב-DMA (גישה ישירה לזכרון);

$T_{ch}$  - זמן עיבוד ערוץ בודד.

התפוקה (Throughput) מוגדרת על-ידי  $S_N$

$$S_N = \frac{1}{T_p(N)} \quad \left[ \frac{1}{SEC} \right] \quad [2.13]$$

אם נרצה לבטא התפוקה בערוצים לשנייה

$$S_{CPS} = N \cdot S_N = \frac{1}{\frac{T_{conv} + T_{tot}}{N} + T_{mov} + T_{ch}} \quad [ch/sec] \quad [2.14]$$

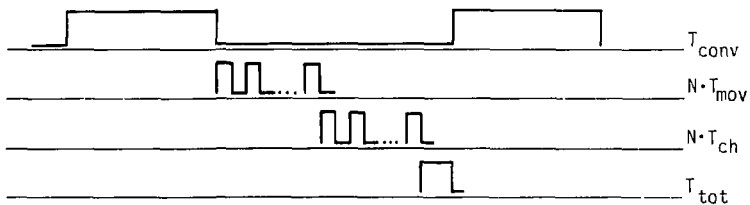
כאשר מספר הערוצים  $N$  גדול ( $N \rightarrow \infty$ ) שולטים זמן עיבוד ערוץ וזמן מעבר ערוץ

$$S_{CPS}_{N \rightarrow \infty} = \frac{1}{T_{mov} + T_{ch}} \quad [2.15]$$

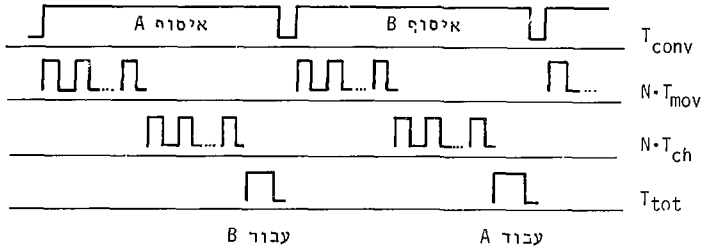
במידה שמתקיים התנאי

$$T_{conv} > N \cdot T_{mov} + N \cdot T_{ch} + T_{tot} \quad [2.16]$$

אזי ניתן להשתמש בטכניקה של double buffer לחסכון בזמן, כלומר בזמן איסוף של קבוצת מונים  $A$  אנו מעבירים התוצאות של קבוצת מונים  $B$  ולהיפך. במצב דגיל גרף הזמנים יראה כך:



אם יש לרשותנו מונים כפולים, הזמנים יראו כך:

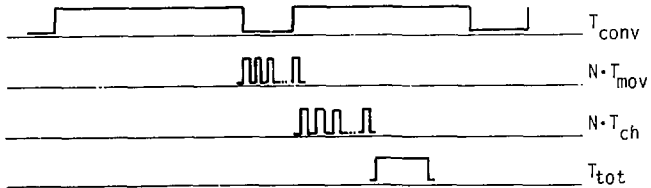


ציור 2.4 זמני איסוף עם איחסון כפול.

ואז התפוקה:

$$S_{CPS} = \frac{N}{T_{conv}} \quad [2.17]$$

במקרה שלנו קיים מעין שילוב,  $T_{conv}$  אמנם גדול מאוד יחסית ליתר הזמנים, והיות שהמונים ממופים בכתובות עוקבות כזכרון, הרי שכתום הספירה מתבצעת פעולת DMA מהירה המעתיקה אח תוכן המונים לזכרון והם משוחררים למנייה מחדש. נכון את גרף הזמנים:



ציור 2.5 זמני איסוף כמערכת

מכאן שהזמן יהיה:

$$T_p(N) = T_{conv} + N \cdot T_{mov} \quad [2.18]$$

$$S_{CPS} = N \cdot S_N = \frac{1}{\frac{T_{conv}}{N} + T_{mov}} = \frac{N}{T_{conv} + N \cdot T_{mov}} = \text{קצב תפוקה (ערוצים לשנייה)} \quad [2.19]$$

ראוי לציין שקיימת אפשרות נוספת לעבודה עם כסיס זמן משתנה. במקרה זה מונה מפסיק למנות כאשר הוא מגיע לספירות בעלות סטטיסטיקה רצויה, (במקרה שלנו 5000 ספירות). אם המונה לא מגיע לכמות ספירות זו בתוך זמן מכסימלי מותר  $T_{max}$  (1 שנייה למשל) הרי המנייה נעצרת בזמן זה.

מכאן שמונה יכול לתת כפלט מספר ספירות בזמן  $T_{max}$  או מספר יחידות זמן שעברו ער שהגיע לספירה הרצויה. במערכת כזו  $T_{conv}$  לא יהיה קבוע אלא יהיה פונקציה של קצב ההתפרקות בשרה הקרינה. ברור שהתפוקה והקצבים השונים ישתנו כהתאם.

### 3 תקשורת במערכת בקרה מפולגת

#### 3.1 כללי

מתוך הגדרת מערכת הבקרה המפולגת ברור לנו כי חלק חשוב מהמערכת מהווה האפשרות לקשר בין חלקיה השונים. אין להעלות על הדעת מימוש מערכת בקרה מפולגת ללא צורה כלשהי של תקשורת והעברת נתונים בין ה'זמות השונות במערכת.

במקרה של המערכת שלנו קיימים כמה סוגים של תקשורת. ברמה הנמוכה ביותר קיימת התקשורת בין המונים הגרעיניים לבין יחידת הבקרה. זוהי תקשורת חד-סטריית ובה אנו מעבירים נתונים גלמיים - קצב התפרקות גרעיניות כפי שהן נקלטות במונה. למעשה קשה להגדיר זאת כתקשורת וניתן לומר שזהו פשוט איסוף נתונים או מדידה ישירה של הקצב. יחידות הבקרה עצמן אינן חייבות להתקשר ביניהן, כלומר ברמה  $i$  אין חשיבות לקשר בין יחידות באותה רמה, אולם הקשר בין כל יחידת בקרה למרכזת הקבוצה שלה הוא חיוני. קשר זה חייב להיות דו-סטרי וספרחי במקרה שלנו.

גם האלמנטים ברמה 2, כלומר מרכזות הקבוצה, אינן חייבות להתקשר ביניהן אולם קשר בין כל מרכזת קבוצה למחשב הנמצא ברמה 3 הוא חיוני, וגם קשר זה צריך להיות רו-סטרי וספרת:

### 3.2 סוגי תקשורת אפשריים

מבין כל סוגי התקשורת האפשריים נוכל להבחין בכמה תת-חלוקות או משפחות. התקשורת יכולה להיות טורית או מקבילית. בתקשורת מקבילית אנו מעבירים בו-זמנית  $n$  ביטים של אינפורמציה בעזרת  $n$  קווים, או  $n + 1$  במקרה של קו חזרה משותף, או  $2n$  במקרה של זוג קווים לכל ביט.

יתרונות תקשורת מעין זו במהירות - ברור כבר בקרוב הראשון שעבור כל קצב שידור שנגיע אליו המערכת המקבילית תוכל להעביר פי  $n$  יותר נתונים בזמן נתון (זאת בהזנחת נושא סינכרון וכו').

עם זאת ברור שהקנס על מהירות זו הוא בכמות החיווט וכן בסיבוך יתר של מעגלי הקליטה והשידור. בתקשורת טורית מועברים הביטים בטור, כך שיש לנו 2 קווים בלבד לכל כיוון או 3 קווים במקרה של קו-חזרה משותף<sup>(6)</sup>.

החלוקה העיקרית של הרשתות, מבלי להתייחס למספר הקווים המהווים ערוץ תקשורת בודד, מבוססת על הטופולוגיה שלהן.

נוכל לזהות חמישה סוגים עיקריים של טופולוגיה:

- (א) כוכב - כל תחנה קשורה בערוץ נפרד למרכזת;
- (ב) לולאה - בקר לולאה שולח ומקבל הודעות דרך כל התחנות<sup>(5)</sup>;
- (ג) טבעת - כל התחנות מחוברות במקביל לטבעת תקשורת אחת;
- (ד) בס משותף - common BUS - התחנות יושבות על קו טורי משותף;
- (ה) ערוץ רחב-סרט - ערוץ מרכזי המעביר כמה סוגי תשדורת במערכת - אינפורמציה ספדתית, קול ותמונה וכו'.

בטבלה 3.1 נוכל לדאוח את הטופולוגיות יחד עם מעט פרטים על כל אחת מהן.

בתקופה האחרונה חלה התעוררות גדולה בנושא רשתות התקשורת המקומיות (LAN - Local Area Network). חברות רבות מפיצות או גרסותן לרשת האידיאלית ובתוך כך קמו מספר הגדרות כלליות ונסיונות לסטנדרטיזציה בנושא. בפרק הבא נראה הגדרה של ארכיטקטורה לרשתות תקשורת (8,9,11,16).

### 3.3 ארכיטקטורת שבע השכבות - מודל OSI לרשתות תקשורת

ברשתות מחשבים, כמו בבנין, יש חשיבות רבה לארכיטקטורה. האיגוד העולמי לסטנדרטיזציה (ISO) הציע ארכיטקטורה לרשתות מחשבים המבוססת על 7 שכבות ונקראת 'מודל ייחוס לחיבור מערכות פתוחות' OSI (ראה ציור 3.1). בדרך כלל השכבות הארכיטקטוניות שתפורטנה להלן לא נראו במערכות תקשורת מקומיות אולם בצורה כלשהי הן התקיימו בכל המערכות (11).

עם הרחבת השימוש ברשתות תקשורת מקומיות מתעורר הצורך בסטנדרטיזציה של כל 7 השכבות, בשלב זה אין עדיין סטנדרט אם כי IEEE הכינה טיוטה לסטנדרט לשכבות 1 ו-2, בכל שכבה של המודל המתואר מתקיימים בתוך השכבה מהווים את הפרוטוקול שלה. יש לזכור שכל השכבות משתתפות בכל מעבר הודעה כך שהקשר ברמה כלשהי הוא וירטואלי. בכל צומת מתחברות השכבות ביניהן בעזרת interface מתאים המגדיר כיצד שכבה נמוכה משרתת את זו שמעליה.

נסקור עתה את שבע השכבות של המודל כאשר אנו מתחילים מן הנתחתית:

(א) שכבה 1: זוהי שכבת הערוץ הפיזי. הפרוטוקולים בשכבה זו מגדירים פרמטרים כמו קצב הביטוי על הקו, שינויי מתח בקווים, איך מבוצעים החיבורים וכו'. דוגמות לפרוטוקולים של שכבה 1 נוכל לראות בסטנדרט RS232C או RS449.

(ב) שכבה 2: שכבת ערוך הנתונים - data link level. בשכבה זו ההודעות המשודרות מורכבות למסגרות (frames), להן מוסיפים את כתובת היעיר ולעיתים גם את כתובת המקור. זאת כנוסף ל"זנב" המסגרת הכולל קודים לזיהוי ותיקון שגיאות. קטע הנתונים (data) בתוך המסגרת מהווה את החלק שהורד לשכבה 2 משכבה 3, ללא קשר לחשיבות קטע זה.

רוגמות לשכבה 2 נוכל לראות בפרוטוקול התקשורת SDLC של חברת IBM ו-HDLC של ISO.



יש לציין שברשתות מסוימות רק זיהוי השגיאה מתבצע בשכבה 2 ואילו תיקון שגיאות נעשה בשכבו גבוהות יותר.

(ג) שכבה 3 - זוהי שכבת הרשת. בשכבה זו ההודעות היוצאות מחולקות לחפיסות (packets), והחפיסות המתקבלות מורכבות להודעות עבור שכבות גבוהות יותר. כמו-כן נקבע מסלולן של החפיסות היוצאות. לכל חפיסה יש מוביל (header) ומגדיר את היעד שלה ואת סדר השידור (החפיסות לא בהכרח מתקבלות בסדר בו שודרו). בדרך כלל המוביל כולל גם את כתובת המקור. שכבה 2 מרכיבה את המסגרת הכוללת של החפיסה ואת המוביל שלה.

3 השכבות שנסקרו עד כה מעורבות גם כאשר הודעות עוברות בצמחית בדרכן מהמקור אל היעד. דוגמה ידועה למימוש שכבות 1-3 נמצא במעבדי ההודעות Interface Message processor (IMP) של הרשת Arpanet.

(ד) שכבה 4: זוהי שכבת התעבורה (transport level). זוהי, אולי, השכבה העסוקה ביותר מכל השכבות. הפרוטוקול של שכבה זו קובע את חיבורי הרשת עבור תשדורת מסוימת. למשל: האם לחבר כמה מסלולים במקביל כדי להרחיב קיבולת (throughput), או לאחד כמה מסלולים ברכוב על-מנת להוזיל התשדורת, או לשדר התשדורת באלחוט. זוהי השכבה הנמוכה ביותר שבה כבר אין התייחסות לצמחית ביניים אלא לשתי נקודות המקיימות קשר ביניהן.

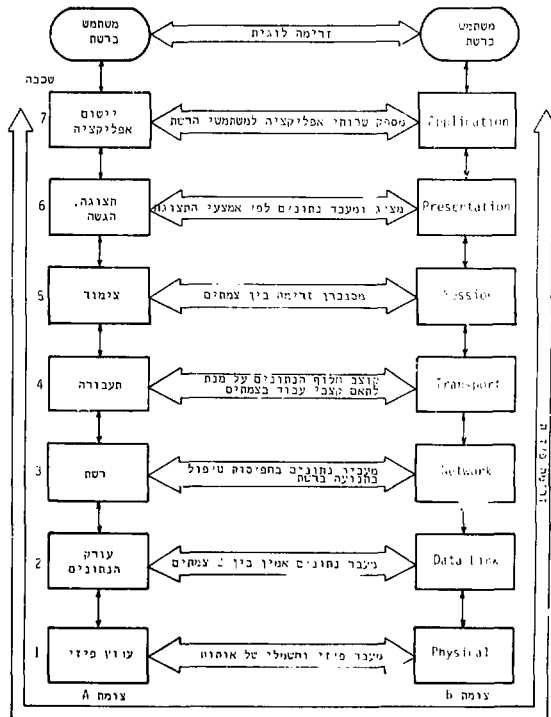
(ה) שכבה 5: זוהי שכבת הוויעד (session) כאן המשתמש מגדיר התקשורת בין מערכות. שכבה זו מפקחת על כניסה ויציאה של משתמשים מהתקשורת, מזהה משתמשים ומחייבת אותם. שכבה 5 אינה נמצאת ברשת Arpanet ונמצאת בצורה מוגבלת למדי בארכיטקטורה SNA של חברת IBM.

(ו) שכבה 6: זוהי שכבת התצוגה או ההגשה (presentation). שכבה זו כוללת פונקציות הנקראות באופן שוטף על-ידי המשתמש כמו ספרייה, הצפנה ופענוח ותרגומים שונים.

(ז) שכבה 7: זוהי השכבה הגבוהה ביותר וזוהי שכבת היישום עצמו - שכבה זו היא הנראית לעיני המשתמש הבודד במערכת. לגבי שכבה זו הרשת כולה שקופה ואינה קיימת ובחננה שלו נמצאת פשוט כל האינפורמציה לה הוא זקוק. דוגמה למימוש של שכבות 6 ו-7


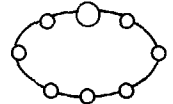
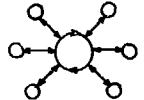
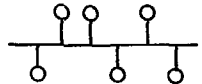
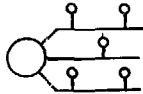
מודל זה בעל שבע השכבות מנסה להגדיר רשת תקשורת בצורה הכללית ביותר תוך מתן אפשרות לרשת אשר תוכנן על-פי ארכיטקטורה כזו, לקלוט שינויים והתפתחויות בקלות יחסית וכמו-כן רשת זו תוכל, בשכבות הגבוהות שלה, לקיים קשר עם רשתות אחרות. יש להדגיש כי מודל זה אינו מגדיר כיצד תבצע כל שכבה את תפקידיה.

בקביעה כי פרוטוקולים לתקשורת יהיו במבנה בן שבע שכבות ובהגדרת תפקידיהן של השכבות קובע המודל את המסגרת שלתוכה ניתן יהיה להתאים בעתיד פרוטוקולים תקינים כלשהם. פרוטוקולים אלה רר ייקראו היצד החבצענה הפעילויות בשכבות השונות וזאת בהתאם לצרכים שיכתיב יישום כלשהו.



ציור 3.1 ארכיטקטורה שבע השכבות לרשתות מחשבים.

טבלה 3.1 סוגי טופולוגיה ברשתות תקשורת.

מערכת טפוסית	יתרונות	מס. תחנות טיפוסית	פרוטוקול טפוסית	טופולוגיה
PABX מיקרו מחשבים מפוזרים	ידוע ומוכר מבוסס בשימושים רבים	עשרות	RS - 232C	 כוכב STAK
IBM 3600 מיקרו מחשבים מפוזרים	ידוע מבוסס	עשרות	SDLC	 לולאה - LOOP
Poime net Domain Omnalink מיקרו מחשבים מפוזרים	שימושי לבקרה מפולגת. אין התנגשות בקו. מקובל ברשתות מחשבים.	עשרות עד מאות	HDLC TOKEN PASSING	 טבעת - RING
Ethernet net/one Z - net Omninet	בקרה מפולגת. פופולרי ברשתות משרדיות	עשרות עד מאות	CSMA/CD	 common Bus
Wang Net Locai Net M/A com	בקרה מפולגת, הגיון רהב של נשתמשים נשימותים	עד מאות	CSMA/CD RS232C	
			ואחרים	ערוץ רחב סרט

#### 3.4 התקשורת שנבחרה למימוש המערכת

לאחר הסקירה שנערכה בקשר לסוגי התקשורת האפשריים בחרנו בתקשורת זהה לקשר בין רמה 3 לרמה 2 ובין רמה 2 לרמה 1. היתרון בקשר זה מובן - אין צורך בתכניות דחיפה והפעלה שונות בכל רמה, ניתן לנצל רכיבים זהים ותכנון זהה.

מובן שלבחירה זו גם חסרונות כיוון שהמרחקים ונפח התעבורה הם שונים הערוצי התקשורת השונים, כך שקשה לבחור תקשורת אופטימלית לכלל המערכת. השיטה שנבחרה היא קשר טורי בסטנדרט SDLC (Synchronous Data Link Control) (6,7,12,13). זהו סטנדרט תקשורת סינכרוני שנכתב על-ידי חברת IBM אשר השתמשה בו על-מנת ליישם רשת תקשורת של החברה. מדובר בתקשורת טורית שאינה תלויה בקוד כלשהו ומבוססת על ביט בודד, כלומר אין תלות באורך מילה כלשהו.

בעבודה זו יושמה רשת SDLC בצורת לולאה, ביישום מעין זה קיימת תמיד תחנה אחת המנהלת את התקשורת (loop controller) - בקר לולאה ומספר תחנות שהן משניות בלולאה (loop terminal).

יתרונות התקשורת בלולאה:

(א) חיווט פשוט יחסית;

(ב) ניתן ליישם בקלות יחסית רשת תקשורת מסודרת של בקר יחיד והרבה תחנות, כאשר

לבקר הלולאה יש משדר אחד ומקלט אחד בלבד, וכל תחנה הנמצאת על-פני הלולאה

מהווה גם מגבר לתקשורת (repeater). נוח ליישום בעזרת סיבים אופטיים;

(ג) ביצוע קל ואוטומטי של תשאול כלל התחנות (polling);

(ד) חסינות רעש גבוהה בשל הימצאות מגבר בכל תחנה;

(ה) הפרוטוקול מטפל בזיהוי שגיאות בעזרת ספרת בקורת מעגלית (CRC).

קיימים כמובן גם חסרונות לתקשורת לולאה - שבירה של הלולאה כנקודה מסוימת, למשל,

משחקת את כל מערך התקשורת - יש לזכור עם זאת שהתקשורת במערכת הירארכית מפולגת

חשובה אך לא הכרחית, כמו-כן יושמו במערכת כמה טכניקות להתגברות אוטומטית על

"שבירת" הלולאה, ודרכים לזיהוי מהיר של נקודת הנתק בלולאה.

למימוש הקשר בלולאה השתמשנו ברכיב של חכרת אינטל מטיפוס 8273 שיתרונו, כיון השאר, בכך, שהוא מאפשר עבודה בלולאה אסינכרונית ומשחזר בכל תחנה את שרון המערכת מתוך קו הנתונים כעזרת חוג נעול פאזה ספרתי.

להלן תיאור קצר של תקשורת SDLC בלולאה:

תקשורת SDLC מתבצעת במשלוח של "מסגרות" (frames). כל מסגרת מורכבת מהחלקים הבאים:

opening flag	-	דגל פותח
address field	-	שדה הכתובת
control field	-	שדה הפקודה
information field	-	שדה האינפורמציה
frame check sequence	-	שדה בדיקת השגיאה
closing flag	-	דגל סוגר

על אף העובדה ש-SDLC הוא פרוטוקול תקשורת סינכרוני מעיקרו, הרי קיימת אופציה

לתפעולו ברשתות תקשורת אסינכרוניות וזה על-ידי משלוח הנתונים בקירוד NRZI

(Non-Return-to-Zero Inverted) לפי עקרון קידוד זה אין שינוי בסיגנל בזמן שידור

של "1" בינארי, אך שדור "0" בינארי יורם לשינוי מצב הסיגנל. נוכל לראות דוגמה

לקידוד זה כציר 3.2.



ציור 3.2 קידוד NRZI.

שימוש בקידוד זה, יחד עם הכנסת ביט "0" בזרם אותות המשודר בכל פעם שיש S ביטים רצופים של "1" בינארי, מבטיחים שקו אקטיבי יעבור ממצב למצב לפחות אחת לזמן של S ביטים.

בפעולה אסינכרונית אנו משחזרים את פולסי השעון מתוך הנתונים המשודרים, שימוש

בקידוד של NRZI יחד עם הכנסת ביט "0" מקל בהרבה על תכנון מעגל שיחזור השעון.

פעולה אסינכרונית זו מאפשרת לנו הפעלת תקשורת SDLC בתצורת לולאה.

הלולאה מורכבת מבקר לולאה יחיד אליו קשרות תחנות משניות (אחת או יותר). התקשורת בלולאה מבוססת על כך שתחנות המשנה משדרות את השדר המתקבל אצלן במורד הלולאה וזאת תוך השהייה של ביט אחד מסיבות שתובהרנה להלן.

הפעולה בלולאה מגדירה תו מיוחד: EOP (End of poll) המורכב מ-"0" ובעיקבותיו שבעה "1" רצופים ללא הכנסת ביט "0".

תחנות המשנה בלולאה, בזמן שהן חוזרות על השדר המתקבל ומשדרות אותו במורד הלולאה, מחפשות EOP בשדר המתקבל אצלן. כאשר מזוהה EOP, התחנה בודקת האם יש לה נתונים כלשהם לשדר. אם כן היא משדרת במורד הלולאה ששה "1" ואפס בסוף ובזה הופכת EOP ל-flag רגיל. שינוי ה-"1" לאפס מתאפשר על-ידי ההשהייה של ביט אחד. לאחר מכן התחנה המשנית שולחת את השדר שלה במורד הלולאה ומסיימת אותו ב-EOP משלה, אשר עתה מאפשר לתחנה הבאה במורד הלולאה לשדר הודעה כלשהי (אם יש לה מה לשדר).

מהחיאור שהובא כאן, יכול לעלות החשש שזמן בתחנה משנית כלשהי מפסיקה לחזור על השדר הנקלט אצלה ומשדרת שדר משלה היא מחמיצה שדר כלשהו המגיע מבקר הלולאה. התשובה לכך היא, שהקשר בלולאה הוא מטבעו קשר חד-כיווני (half duplex), בקר הלולאה ישדר שדר כלשהו במורד הלולאה רק אחרי שיקלוט EOP מהלולאה, ובר המסמן שהתחנה האחרונה בלולאה גמרה להתבטא.

### 3.5 מימוש התקשורת במערכת

נחזור עתה מתיאור כללי של חצרות התקשורת שנבחרה אל המקרה הפרטי שלנו - מערכת המונים המפולגת.

כפי שצויין, לצורך מימוש פרוטוקול התקשורת של לולאת SDLC נעשה שימוש ברכיב של חברת אינטל-8273. הרכיב כולל הן את מעגלי השידור והקליטה והן את מעגל חוג נעול פאזה ספרתי, המשמש לשיחזור השעון של המערכת בתחנות המשנה.

בכל מרכזת קבוצה שובצו שלושה רכיבים מטיפוס זה האחד משמש כחנת משנה בלולאה הראשית, השני משמש כבקר לולאה בלולאה המשניח, והשלישי כחנה משנית בלולאת תצוגות. שלושת הרכיבים מתופעלים בצורת עבודה של קשר ישיר לזכרון (DMA), על-מנת לאפשר העברת נתונים בקצב מהיר. יחידת הבקרה כוללת רכיב אחד מטיפוס 8273 המתפקד כחנת משנה בלולאה המשנית. גם רכיב זה מתופעל בשיטת DMA. קצב העבודה של רשת התקשורת נקבע ל-8000 ביטים לשנייה. המגבלה על קצב התקשורת נובעת מהשימוש בחוג נעול פאזה ספרתי בתחנות המשנה.

השידור מבוצע על-ידי לולאת זרם, כאשר קיים בידוד בין תחנה לתחנה. הכידוד מושג על-ידי צימוד אופטי של קווי התקשורת. השימוש בלולאת זרם וצימוד אופטי נועדו להשיג חסינות רעש גבוהה למע כת.

אחת מנקודות התורפה של תקשורת בלולאה היא העובדה שנתק בנקודה כלשהי לאורך הלולאה מנתק את כל מערך התקשורת. לכאורה עובדה זו מקנה יתרון בולט לתקשורת שבה כל התחנות מחוברות במקביל לקו תקשורת אחד, אולם כאן יש לקחת בחשבון שבחיבור במקביל, יגרום קצר על קו התקשורת לנזק זהה בדיוק לזה שיגרום נתק בלולאה, ואין לנבא אם הסיכוי לנתק או לקצר גבוה יותר.

בעיה נוספת שמתעוררת בקשר בלולאה - מה יקרה אם בשל תקלה בתחנה משנית כלשהי היא תפסיק לפעול - הרי כל הלולאה תנותק. הפתרון לבעיה זו נמצא בחיזוק כל תחנה משנית דרך ממסר מיוחד אשר בזמן שאינו מקבל מתח, כלומר במצב משוחרר, מגעיו גורמים לעקיפת התחנה המשנית מבחינת הלולאה. הממסר מוחזק במצב מעורר על-ידי מעגל watch-dog של התחנה, כך שבכל מקרה של תקלה - הן באספקת מתח לתחנה, הן בתיפקוד התחנה והן במקרה של שליפת התחנה ממקומה - מיידי שוחרר הממסר והלולאה תמשיך לתפקד, אך כלי התחנה הפגומה.

בקר הלולאה יבחין בהיעלמות תחנה מהמערך על-פי החשובות המגיעות אליו, וידווח על תקלה זו למחשב המתקן, או, במקרה שמדובר במרכזת קבוצה חסרה, מחשב המתקן יבחין בתקלה וידווח למפעילי המתקן.

קיימות כמה דרכים לאתר מקום שבו נפסקה רציפות הלולאה, למשל, על-ידי נתק בקו. הדרך הראשונה היא על-ידי פנייה מבקר הלולאה לכל התחנות להיכנס למצב אחזקה ולהציג מבנה מוסכם מראש על הפנל הקדמי שלהן. מובן שמבנה זה יוצג רק על יחידות שאליהן יש רצף תקשורת מהמחשב ומקום הנחק נראה מיד על-פי התחנה הראשונה שלא מציגה את המבנה המוסכם. דרך אחרת היא, שכל תחנה שמרגישה שאינה מקבלת תקשורת ממעלה הלולאה ממתינה זמן יחסי למקומה בלולאה והופכת להיות בקר לולאה המשדר אותות זיהוי כמורד הלולאה. אותות אלה מגיעים חזרה לבקר הלולאה ומדווחים לו על מקום הנחק.

#### 4 מבנה המערכת - צורת המימוש

##### 4.1 כללי

בפרק זה מוצגת צורת המערכת שנבנתה לצורך מימוש בקרת הקרינה הסביבתית.

הנתונים שנדרשו לאפליקציה המתוארת:

- (א) מדידת 192 גלאי קרינה;
  - (ב) תחום הקצבים הצפויים מכל גלאי: 10-10000CPS;
  - (ג) הפעלת סף מקומי לאתראה ופעולה עבור כל 10 ערוצי מדידה;
  - (ד) תצוגה מקומית לפי דרישה של ערכי הקריאות בגלאים;
  - (ה) קריאה של כל גלאי יכולה לעבור לפני התצוגה התמרה ליניארית;
  - (ו) כל הערכים יועברו למחשב מרכזי;
  - (ז) תצוגה גרפית על-ידי מחשב מרכזי;
  - (ח) תצוגה של ערכים נבחרים בצגים ספרתיים מפוזרים על-פני לוח סינופטי או באתרים המנוטרים;
  - (ט) אפשרות קלה להרחבת המערכת בהמשך;
  - (י) אמינות ושרידות גבוהות במיוחד;
  - (יא) שילוב המערכת במערכת איסוף נתונים ובקרה נוספות.
- חיאור טכני מפורט, בליווי סכימות אלקטרוניות מובא בנספח 1.



## 4.2 מבנה

כפי שראינו בחלקים הקודמים של העבודה בחרנו במערכת הירארכית מפולגת בת 3 רמות .  
ברמה הנמוכה - רמה 1 ימצאו יחידות בקרה. אלה מכשירים עצמאיים שכל אחד מהם יוכל  
לטפל בקבוצת מונים -  $N$  מונים.

כל  $M$  יחידות בקרה תהיינה קשורות למרכזת קבוצה.

מרכזת הקבוצה, יחד עם מרכזות קבוצה אחרות תהיינה קשורות למחשב המרכזי.

מרכזות הקבוצה תהיינה קשורות במקביל למערכת תצוגה עצמאית.

נראה עתה מהם ערכי  $M$  ו- $N$  אותם נבחר במקרה זה. השיקולים לבחירה יהיו:

(א) עומס על יחידת הבקרה;

(ב) עומס תעבורה ברשת התקשורת המשנית - בין יחידות הבקרה למרכזת הקבוצה;

(ג) עומס על מרכזת הקבוצה;

(ד) שיקולי אמינות ושירות;

(ה) שיקולים כלכליים - עלות הציור.

ראשית נברוק בצורה איכותית את כיווני ההשפעה של הפרמטרים השונים.

יש לציין כאן שמקרה זה של המערכת הנרונה הוא יחסית קל ופשוט, היות וכל התקשורת

נעשית על בסיס של תישאול ותשובה, כלומר מרכזת הקבוצה יוזמת פנייה ליחירת פיקוד,

ומחשב המערכת יוזם פנייה למרכזת הקבוצה. לא קיים מצב שבו מרכזת קבוצה יוזמת פנייה

למחשב המערכת או יחידת בקרה פונה למרכזת קבוצה. דבר זה מביא לכך שאין לנו כאן

בעיות של תורים וחישובי תעבורה מסובכים הקיימים ברשת תקשורת מסוג כללי יותר.

ככל שנקטין את  $N$  (מספר המונים ליחידת בקרה) התעבורה בלולאה המשנית תהיה מורכבת

משדרים קצרים יותר, עלות הציוד תעלה אולם האמינות תשתפר. אם נקטין גט את  $M$  - מספר

יחידות הבקרה - בכל לולאה משנית הרי שכלל נפח התעבורה בלולאה המשנית יקטן וכן יקטן

עומס העבודה של מרכזת הקבוצה ויחידת הבקרה.

נבדוק את נפח התעבורה בלולאה המשנית:

כל יחידת בקרה שולחת אחת לשנייה  $N$  תוצאות למרכזת הקבוצה. תוצאה מורכבת מ-16 ביט,

השדר כולל גם כמה מילות סטטוס (40 ביט) כך שהשדר הכולל יהיה:  $L = 16 \cdot N + 40$ . זמן שידור של שדר כזה יהיה  $L/S$  שניות כאשר  $S$  הוא קצב שידור בביט לשנייה. במקרה שלנו קצב זה הוא 9600. הקצב נקבע בשל השימוש ברכיב 8273 של חברת אינטל וניתן להגדילו בסדר גודל על-ידי מעבר לרכיב אחר, למשל של חברת Western - Digital, או לעבור לצורת עבודה סינכרונית באז'ו רכיב. בלולאה המשנית  $M$  תחנות, כך שבכל שנייה עוברים  $L \cdot M$  ביטים והזמן לשידור, או הזמן שבו תפוסה הלולאה הוא  $(L \cdot M)/S$  שניות. אם נקח לדוגמה הנתונים הבאים:

לכל מרכזת קבוצה 4 יחידות בקרה  $M = 4$ . כל יחידת בקרה מטפלת ב-40 מונים  $N = 40$  השדר בלולאה המשנית יהיה:

$$L = 16 \cdot 40 + 40 = 680$$

זמן השידור שלו: 70.8 msec

זמן תפוס של לולאה משנית:  $L \cdot M/S = 283$  msec

לכאורה נתוני רוגמה אלה משביעים רצון, אולם אם יחידות בקרה אחת יוצאת מכלל פעולה הרי 40 מונים מפסיקים לתפקד, שהם כ-25% מכלל המונים במערכת, ונתון זה אינו מתחבל במערכת הנתונה.

אנו רואים שבמקרה זה גם אם שיקולי עומס תעבורה ועלות המערכת מאפשרים להגדיל את מספר המונים ביחידת בקרה, שיקולי שרידות ואמינות לא ירשו זאת.

לאחר בדיקות נוספות נבחרו הפרמטרים הבאים:

לכל יחידת בקרה 24 מונים, בשתי קבוצות בנות 12 מונים.

לכל מרכזת קבוצה 4 יחידות בקרה.

במערכת הכוללת 2 מרכזות קבוצה.

נבדוק עתה את אפשרויות הרחבת המערכת:

בלולאה תקשורת SDLC ניתן לשבץ עד 254 תחנות, כך שהמספר המירבי של מרכזות קבוצה הוא 254, אלה תוכלנה לטפל ב-1016 יחידות בקרה, והיות וכל יחידת בקרה מטפלת ב-10 מונים הרי שהמערכת יכולה לאסוף נתונים מ-1016 מונים. ברור שמספר זה הוא דמיוני ויש לזכור

עם זאת שבמתקן גרעיני קיימות עור פונקציות ומטלות למערכת הבקרה מלבד איסוף נתוני המונים, ולכן במערכת הלולאה הראשית תשובצנה גם מרכזות קבוצה מסוגים אחרים, אשר תטפלנה באיסוף נתונים מהשדה ועם זאת גם בהפעלת אלמנטים שונים במתקן. ברור, לכן, שלא כל 256 מרכזות הקבוצה האפשריות תהיינה לאיסוף נתוני מונים.

לפני שנעבור לסקירה מפורטת יותר של האלמנטים במערכת נשרטט שוב את הסכימה של מערכת הבקרה ההירארכית המפולגת כפי שהופיעה בציור 2.1, אולם הפעם בצורה מפורטת יותר ותוך מתן תשובה לדרישות המפורטות בראשית פרק זה.

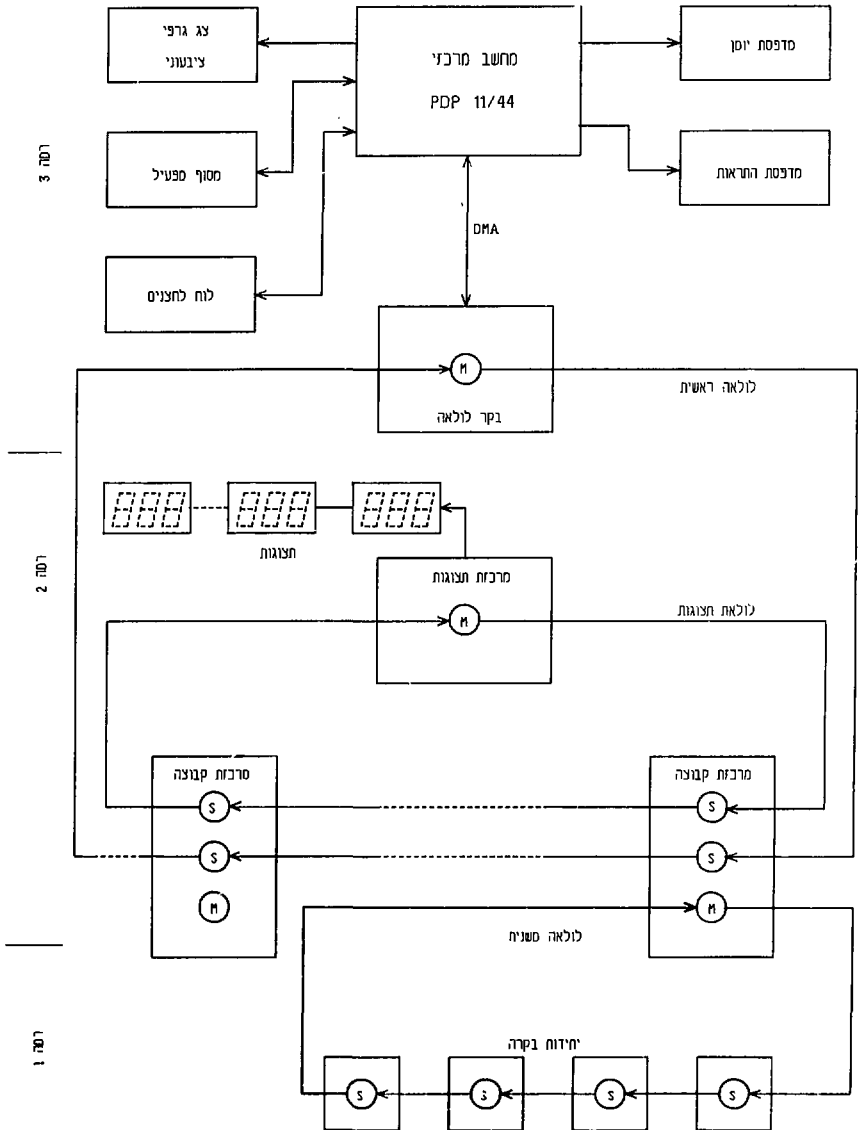
בציור 4.1 אנו רואים פירוט יתר של המערכת, ברמה 3 קיים המחשב המרכזי שהוא מטיפוס POP-11/44 של חברת DEC, העובד תחת מערכת הפעלה RSX11M. זהו מחשב שנבחר עקב שילוב של יכולת חישובים וקיבולת זכרון מצד אחד ויכולת של מערכת ההפעלה לטפל כיעילות במערכות עתירות קלט-פלט.

למחשב רמה 3 חובר ציוד היקפי מגוון. הדיסקים משמשים לאחסון ותוכנה ונתונים ומדפסת היומן מדפיסה את רישום פעולות מפעילי המתקן ברציפות וזאת לצורך מעקב ובירורים מאוחרים במקרים של תקלות. מדפסת האתראות מדווחת על חריגות ובעיות במתקן וזאת בנוסף לאתראה קולית בצופר.

קשר המפעיל עם המחשב נעשה באמצעות מסוף מטיפוס VT100 עליו הוא מדגים פקודות שונות המפעילות תכניות לדיווח בצורות שונות ולביצוע פעולות במתקן, כמו-כן עומד לרשות המפעיל צג גרפי צבעוני המאפשר קבלת נתונים על המתקן בצורה של תזרימים ושרטוטים המאפשרים למפעיל לאבחן בזמן קצר ביותר בעיות במתקן, מהותן ומיקומן.

אמצעי נוסף לקשר עם המחשב הוא לוח הלחצנים הפונקציונלי, לוח זה בא לקצר ולפשט את הפעלת תכניות המחשב השונות. כל לחיצה על לחצן גורמת לפסיקה במחשב והפעלת תכנית ששמה מצויין על הלחצן.

ברמה 2 אנו רואים בנוסף למרכזות הקבוצה אלמנט נוסף - מרכזת התצוגות. אם נבחן שנית אח דרישות המערכת נראה שיש צורך להציג ברציפות ערכים של קריאות ממונים מסויימים על גבי לוח סינופטי בחדר הבקרה. לצורך זה נכנחה מרכזת התצוגות הקשורה אל מרכזות



ציור 1.1 מערכת הירארכיה מפולגה - סכימה בלוקים מפורטת.

הקבוצה בלולאת תקשורת נוספת המכונה: לולאת תצוגות. מרכזת התצוגות מושכת ברציפות מכל מרכזות הקבוצה את ערכי המניות של כל המונים הכפופים להן. בעזרת טבלת הקצייה המצוייה במרכזת התצוגה היא ממיינת את המונים אותם עליה להציג, מפעילה עליהם התמרה רצוייה מהטיפוס:  $y = Ax + B$  ושולחת אותם בצורת סגמנטים לצגים מטיפוס גביש נוזלי (LCD) הפזורים על-פני הלוח הסיבופטי.

יתרון טכניקה זו על-פני מרידי קצב אנלוגיים המחוטטים ישירות למוני הקרינה, כפי שמקובל לעשות היום, הוא בגמישות הרבה בשינוי הקצאת הצגים למונים וכמו כן באפשרות לבחור פורמט תצוגה נוח ולהעביר את הערכים בכל התמרה רצוייה לצורך קבלת יחידות הנדסיות וכדומה.

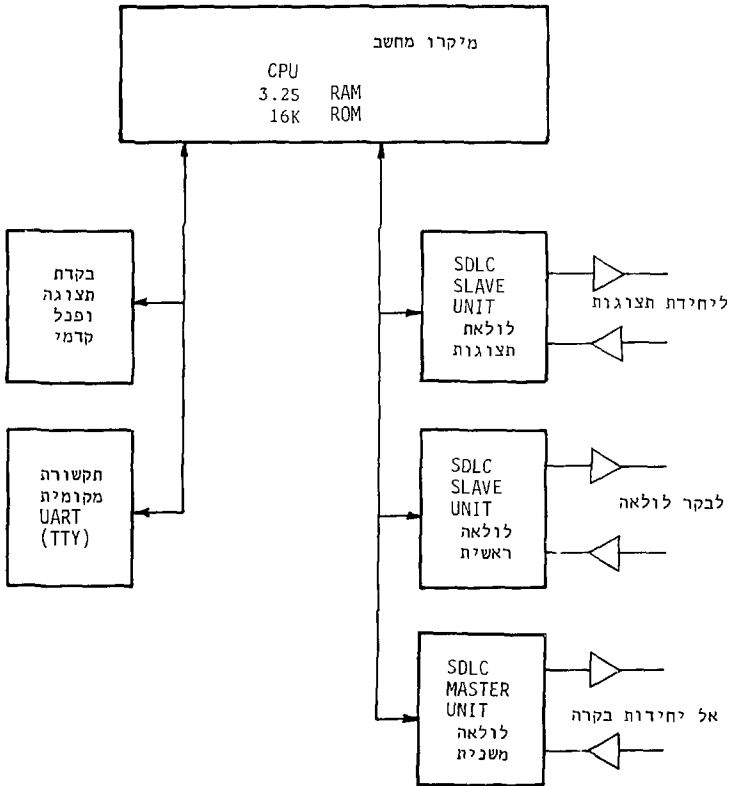
#### 4.3 מרכזת קבוצה

מרכזת הקבוצה ממלאת כמה תפקידים במערכת: היא משמשת כחוליה מקשרת וכמרכזת עבור 4 יחידות הבקרה הכפופות לה וכמו-כן מהווה אמצעי לתקשורת בין מפעיל המתקן או איש התחזוקה לבין יחידות הבקרה והמתקן עצמו.

נבחן את סכימת הבלוקים של מרכזת הקבוצה (ציור 4.2):

מיקרו-מחשב מטיפוס 8085 מפעיל את מרכזת הקבוצה. תצוגת המכשיר כוללת צגים מטיפוס זיודות פולטות אור (LED) המאפשרים להראות קריאת מונה מסויים לפי מיקומו במתקן, ספים לכל מונה ועור נתונים הנוגעים למונים ולמתקן. במירת התצוגה הרצוייה נעשית מהפנל הקדמי על-ידי מפסקים ספרתיים (digi switches) ולחצנים. כמו-כן קיימת מערכת לתקשורת בעזרת טלטייפ קצב 300 BAUD לצורך קבלת נתונים בטבלות ממרכזת הקבוצה.

קיימות כמרכזת 3 מערכות SPLIC נפרדות, מהן שתי מערכות שהן slave התצוגות ולולאה הראשית המבוקרת על-ידי מחשב רמה 3, ומערכת שלישית המהווה בקר ללולאה המשנית, כלומר לארבע יחידות הבקרה. מרכזת הקבוצה מחזיקה בסיסי נתונים מסוגים שונים.



בזכרון מטיפוס RAM הנמחק בזמן הפעלה ראשונית של המרכזת מוחזקת תמונת הנתונים של ארבע יחידות הבקרה הכפופות למרכזת. בסיס נתונים זה מתעדכן ברציפות על-ידי שאלות ותשובות כלולאה המשנית. כמו-כן נתונים לגבי ספים של ערוץ מסויים או הוצאת גלאי ממצב עבודה למצב תחזוקה, הבאים מתוך מרכזת הקבוצה, מתעדכנים ברציפות.

מרכזת הקבוצה מכצעת ברציפות טעינה של קטעים מבסיס נתונים זה אל תוך יחידות הבקרה בצורה כזו קיימת כפילות של נתונים אלה ובמקרה של החלפת מרכזת קבוצה, המרכזת החדשה יכולה לשחזר את בסיס הנתונים שלה על-ידי תישאול יחידות הבקרה.

בסיס נתונים שני המאוכסן בזכרון בלתי נמוק (ROM) מכיל נתונים דומים לאלה שבבסיס הנתונים הקודם, אולם נתונים אלה הם למעשה בחירת המחדל, כלומר הם נתונים טובים מספיק לצורך פעולה סבירה של המתקן, אך לא כוללים שינויים קלים ועדכונים שבוצעו על-ידי מפעילי המתקן דרך מרכזת הקבוצה. לכל עמדה של מרכזת קבוצה וארבע יחידות בקרה טבלת נתונים משלה, אולם מרכזת הקבוצה מחזיקה את כל טבלות הנתונים בזכרון שלה בזמן הפעלה ראשונית מקבלת מרכזת הקבוצה מידע על העמדה בה היא נתונה בעזרת מגעים מסומנים בבסיסה, לאור מידע זה מעדכנת המרכזת את הטבלה ה"דינמית" שלה מתוך בסיס הנתונים המתאים.

הפניה לטבלות בחירת המחדל נעשית רק אחרי שהמרכזת פונה ליחידות הבקרה הכפופות לה בבקשה להעביר לה נתונים ונענית שאין להן נתונים להעביר כיוון שגם הן חדשות.

#### 4.4 יחידת הבקרה

##### 4.4.1 כללי

יחידת הבקרה מהווה אח הרמה הנמוכה ביותר במערכת המחוארת. זוהי למעשה היחידה

המבצעת את העבודה העיקרית בחהליך הבקרה.

תפקיד יחידת הבקרה לקבל פולסים מהמונים עצמם, למנות פולסים אלה, להחליט על ביצוע

פעולות בקרה פשוטות על-פי קריאחו של כל מונה ולהעביר את נתוני המונים אל מרכזת

הקבוצה.

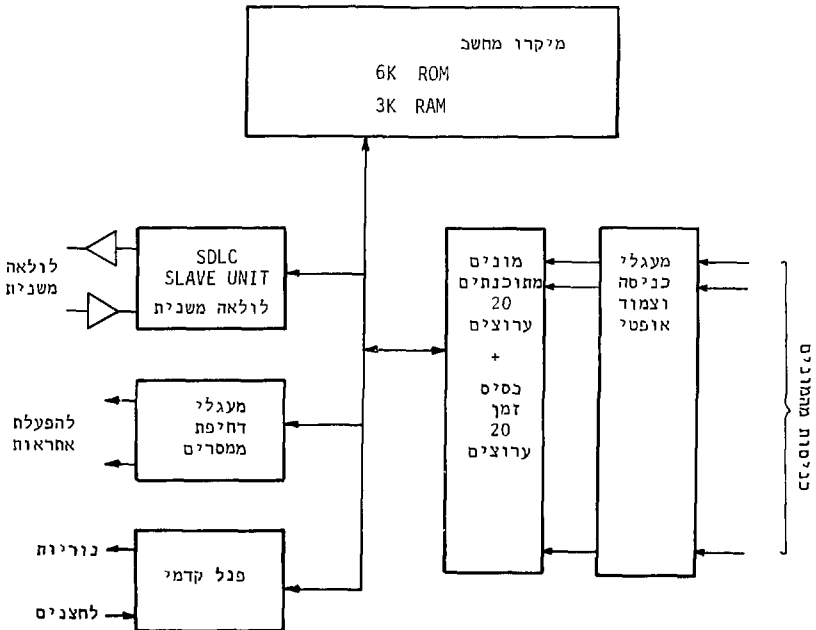
4.4.2 תיאור היחידה

בציור 5.3 נראה את סכימת הבלוקים של יחידת הבקרה. היחידה מבוקרת על-ידי מיקרו-מחשב מטיפוס 8085. מהמונים מגיעים פולסים למעגלי הכניסה והצימוד האופטי, וזאת משיקולי חסינות רעש ומביעו תקלות. משם מועברים האותות אל מונים מתוכנתים אשר זמן האיסוף שלהם ניתן לשליטה על-ידי המחשב, לקבלת מספר ספירות אופטימלי מבחינת מהימנות סטטיסטית של התוצאות. קיימות כמה אפשרויות לאלגוריתם של הספירה.

כזכור, הפולסים המגיעים הם אקראיים, כך שאם ברצוננו לקבל מידע אמין לגבי קצב הפולסים עלינו לצבור מספר פולסים כזה, שסטיית התקן  $\sigma$  של התוצאה תהיה קטנה מספיק. אם למשל הדיוק שאנו מעוניינים בו הוא 1%, אזי יש צורך לצבור 10,000 ספירות, ואז:

$$\sigma = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = 100 \quad [4.1]$$

$$\frac{\sigma}{N} = 0.01 = 1\% \quad [4.2]$$



ציור 4.3 יחידת בקרה - סכימת בלוקים.



אם אנו יודעים את התחום הצפוי לכל ערוצי המדידה י"לנו, והתחום הדינמי שלהם קטן יחסית, ניתן לקבוע זמן איסוף אחד לכל המונים, כך שתמיד נאסוף מספר ספירות שיספק את דרישות הדיוק.

ברוב המקרים אין המצב כל כך פשוט ויש צורך לשנות את זמן המנייה לפי מצב הקרינה בשדה. מהאמור לעיל ברור שיש צורך למצוא בכל מונה את נקודת האיזון בין סטטיסטיקה מספקת ובין זמן מינימלי לביצוע המנייה. הפתרון הוא להקצות לכל ערוץ 2 מונים, כאשר מונה אחד יבצע ספירות של הפולסים מהגלאי עד לערך רצוי מבחינה סטטיסטית  $P_c$  והמונה השני יבצע מדידת זמן עד לזמן המקסימלי שאנו מתירים לבזבז על מניית הפולסים  $T_m$ . הראשון מבין המונים שיגיע לספירה שתוגדר לו יעצור את שניהם ויאוחת למחשב על סיום ספירה. מכאן, שבמקרה של קצב גבוה הספירות תסתיימנה מהר יותר ובכל מקרה המניות לא תמשכנה יותר מהזמן:  $T_m$ . שיטה זו מסבכת אמנם את איסוף הנתונים מהמונים ואת עיבודם, אולם מביאה לאופטימיזציה של זמן האיסוף.

הקושחה (firmware) ביחידת הבקרה יכולה לבחור בין תצורות שונות של איסוף הפולסים: מנייה במשך זמן זהה לכל הערוצים או מנייה גמישה כפי שתוארה כאן. במקרה של מנייה לזמן קבוע מנוצל באופן מירבי מיפוי הכתובות של המונים לבלוק כתובות עוקבות, דבר המאפשר איסוף מהיר של המניות ב-DMA.

ליחידת הבקרה גם תפוקות להפעלת ממסרים, תפוקות אלה נועדו לבצע פעולות חיוביות מבחינת הבטיחות שלא ניתן לסמוך על מערכת המחשב לצורך ביצוען. פעולות אלו מתבצעות בכל פעם שמונה מסויים יעבור סף נתון.

האלגוריתם המקובל קובע שהמסר משוחרר בכל מקרה שבו 2 מונים עוברים את הסף וזאת למניעת אתראות שווא. ערך הסף נקבע על-ידי מרכזת הקבוצה ומועבר ליחידת הבקרה בלולאה המשנית. במידה שמעוניינים לבטל זמנית השפעתו של גלאי מסויים, ניתן להעביר ליחידת הבקרה עדכון שהוא במצב "גלאי כאחזקה" ואז אין הוא מפעיל ממסרים. ברגע שמסר מסויים השתחרר, שוב אין הוא חוזר למצב רגיל גם בירידת הקצב בגלאי, אלא רק בלחיצה ידנית של המפעיל על לחצן איפוס ביחידת הבקרה וגם זאת רק בתנאי שהספירות ירדו, וזאת משיקולים תפעוליים.

יחירת הבקרה מבצעת את כל פעולות צבירת המניות, עיבודן, הפעלת הממטרים כמידת הצורך ותגובה לפנל הקדמי בצורה עצמאית לחלוטין ובקצב שלה. עם זאת היא יושבת על הלולאה המשנית וממתנה להוראות ממרכזת הקבוצה. לפי דרישה היא מדווחת מניות אחרונות או מבצעת אלגוריתמים של סינון על התוצאות, מעדכנת ערכי הספים וכרומה.

במצב עבודה רגיל, הנתונים המועברים למרכזת הקבוצה הם המניות האחרונות של 10 המונים יחד עם נתוני סטטוס לגבי מצב המערכת האלקטרונית ומצב הספים. במקרה שיחידו: הבקרה עובדת במצב של סינון האותות הרי המניות שמועברות הן משוקללות לכל ערוץ בעזרת אלגוריתם של פילטר מעביר נמוכים.

#### 4.5 מרכזת התצוגות

מרכזת התצוגות אינה חלק מהמערך העיקרי של מדידת הקרינה ולמעשה זוהי מערכת עזר. זהו מכשיר המבוסס על מיקרו-מחשב 8085 וכולל בקר לולאת SDLC המתשאל את כל מרכזות הקבוצה במתקן. קצב התישאל הוא בערך אחת ל-2 שניות. בכל ערוכו כזה מתעדכנת טבלה כמרכזת התצוגות הכוללת את כל ערכי המניות האחרונות שנעשו בשדה. על-פי טבלה התמרה המאוכסנת בזכרון ROM במרכזת, מבוצעת התמרה  $y = Ax + B$  לכמה ערוצים מתוך כלל הערוצים. ערוצים אלה צריכים להיות מוצגים ברציפות בלוח סינופטי. ההתמרה נעשית לצורך מעבר ליחידות הנדסיות והחסרת רקע.

מתוך דרישות התכנון ללוח הסינופטי היה צורך לאפשר ריחוק מסויים שלו מיתר המיכשור, וכמו-כן הצגים המותקנים בו היו צריכים להיות בעלי גודל מינימלי, דבר זה הכתיב עבודה בצורה טורית, כלומר: בלוח הסינופטי מותקנים צגים מסוג LCD בעלי  $3\frac{1}{2}$  ספרות. לכל צג shift register המחובר לכל הסגמנטים שלו. כל הצגים מחוברים בטור בקבוצות, כך שכל שרשרת תצוגות כזו קשורה כככל בעל גידים ספורים בלבד למרכזת הקבוצה. מרכזת התצוגה מעבירה אל הצגים את הנתונים בצורת זרם של סגמנטים המועבר בפעימות כל שנייה. שינוי טבלות ההקציה של גלאים לצגים וכן קבועי ההתמרה לכל גלאי נעשה לעיתים רחוקות בלבד כך שהנתונים אלה מאוכסנים בזכרון ROM ואינם נמחקים בהפסקת חשמל.

#### 4.6 בקר לולאה - פרוטוקול תקשורת

בקר לולאה נועד לטפל בקשר הפיזי ובפרוטוקול התקשורת בין רמה 3 לרמה 2, כלומר, בין המחשב המרכזי למרכזות הקבוצה. מבחינת מודל שבע השכבות של ISO אנו מטפלים כאן בשכבה הראשונה והשנייה.

בקר הלולאה תוכנן ונבנה כרכיב היקפי אינטליגנטי למחשב רמה 3 ונועד לשחרר את המחשב מכל הקשור בטיפול ברשת התקשורת. למעשה בקר הלולאה הוא מיקרו-מחשב עצמאי אשר מצד אחד שולט בלולאת התקשורת לפי פרוטוקול SDLC בעזרת רכיב אינטל 8273 ומצד שני מתקשר עם המחשב בערוץ DMA כאשר קטעי זכרון מסויימים מהווים איזור משותף להעברת נתונים ואיזור מסויים בזכרון משמש כתיבת דואר (mail box) להעברת פקודות ממחשב רמה 3 לבקר הלולאה והעברת דיווחים בכיוון ההפוך.

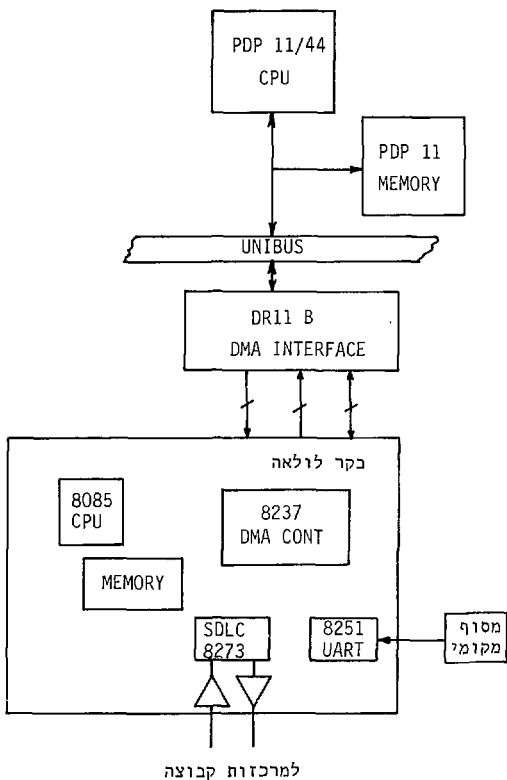
נראה סכימת בלוקים של בקר הלולאה כציור 4.4. הקשר של בקר הלולאה עם המחשב הוא רק בעזרת ערוץ DMA, כלומר העברת בלוקים של נתונים מאיזור מסויים בזכרון ה-PDP אל איזור מסויים בזכרון של בקר הלולאה.

היזום של פעילות בקר הלולאה הוא המחשב המרכזי בכל מקרה. הוא "שולט" ב"תיבת הדואר" (mail box) של בקר הלולאה אוסף פקודות. בקר הלולאה מקבל פסיקה בסיום תהליך ה-DMA, מפענח את הפקודות, בודק אם הן חוקיות ושולח אותן בזו-אחר-זו לתחנות. האינפורמציה המתקבלת מהתחנות מאורגנת כ-buffer מתאים המיועד למשלוח אל המחשב המרכזי.

בקר הלולאה יוזם אז פסיקה במחשב המרכזי וגורם לו לאסוף את הנתונים אל הזכרון שלו בערוץ DMA.

#### פרוטוקול תקשורת

לצורך התקשורת בין שני המחשבים - מחשב PDP-11 ומיקרו-מחשב של בקר הלולאה, הוכן פרוטוקול תקשורת מפורט המגדיר את מבנה תיבת הדואר והפורמט של הפקודות השונות. אורך "תיבת הדואר" קבוע והוא 200 בתים. 2 הבתים הראשונים מציינים את מספר הפקודות שהוא כולל, ואחרים מופיעות הפקודות, שכל אחת מהן תופסת 2 בתים: אחד לכתובת ואחד למילת הבקרה.



צירור 4.4 בקר לולאה והקשר שלו עם המחשב.

במקרה של פקודות שדורשות הוררת נתונים אל מרכזות הקבוצה, למשל - קביעת סיפים למרכזת קבוצה מסויימת, תועבר פקודה בודדת ובעקבותיה הנתונים, בכל מקרה 200 בתים הם אורך מספיק לכל קבוצת נתונים שאנו מעבירים.

אורך בלוק הנתונים המוחזר למחשב PDP אינו קבוע והוא משתנה בין 50 ל-6050 בתים. במקרה זה המבנה מורכב יותר וכולל שרה לאורך הבלוק המגדיר את אורכו, שדה הסטטוס המדווח על מצבי שגיאה מסויימים כתשדורת SDLC.

שדה "הד" (echo) החוזר על תוכן תיבת הדואר.

שדה תוצאות הכולל מידע על אורכו ונתונים לגבי כל תשובה שהגיעה מהתחנות אל בקר הלולאה, ולבסוף התשובות עצמן, בסדר בו הגיעו מהתחנות. כל תשובה מופיעה כשבראשה כתובת התחנה ממנה נשלחה.

אלה הם כמובן נתונים כללים כלבר היות ואין כוונה להכנס לפרטי פרוטוקול התקשורת והתחביר שלו.

#### 4.7 מערכת המחשב

##### 4.7.1 כללי

כפי שהוזכר בראשית הפרק, מערכת המחשב מהווה את רמה 3 - הרמה הגבוהה ביותר במערכת. (אם לא ניקח בחשבון את מפעילי המתקן). מערכת זו נועדה בעיקר לתת את מירב הנוחיות והשכלול בקשר מפעיל-מתקן ועיקר תרומתה לחוסם זה של שיפור הנרסת האנוש במתקן, קיום מעקב ורישום אחר כל האירועים במתקן ומתן אפשרות לכוח-אדם מצומצם לפקח על פעולת מתקן גדול יחסית מנקודה מרכזית אחת.

מערכת המחשב בתצורה המתוארת היא אחת ויחידה לכל המתקן ובמבט ראשון נראית כאן חולשה מסויימת, שהרי המערכת המתוארת אמורה להצטיין בשרירות ואמינות ולא נראה שזה מתיישב עם מחשב בודד את כל המערכת הבקרה. אולם יש להרגיש שוב שפעולה תקינה של מערכת הבקרה אינה תלויה בפעולת המחשב המרכזי כלל ועיקר. בכל מקרה של תקלה במחשב המרכזי עובדים מפעילי המתקן למרכזות הקבוצה ומתן ניתן לקבל את כל הנתונים לגבי שדות הקרינה במתקן וכן פרמטרים אחרים, כמו-כן ניתן לבצע באמצעות מרכזות הקבוצה כל פעולה אותה ניתן היה לבצע ממחשב רמה 3. למרות האמור לעיל אחיחוס בהמשך למערכת גיבוי למחשב רמה 3.

4.7.2 מננה

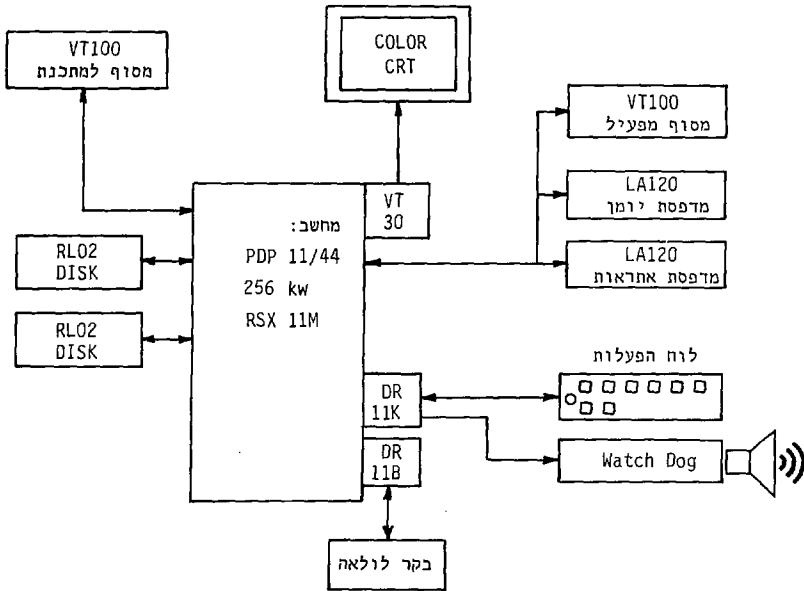
מערכת המחשב בנוייה ממחשב מטיפוס PDP11/44 של חברת Digital Equipment co מארה"ב. זהו מיני מחשב, בעל מילה באורך 16 ביט הפועל תחת מערכת ההפעלה RSX11M רוסיה 4.0. המחשב כולל זכרון בגודל 128KW.

ציור היקפי במערכת כולל: 2 מערכות ריסק מטיפוס RLO2 בעלות קיבולת של 10mB כל אחת, 2 מסופים מטיפוס VT100, 2 מדפסות מסוג LA120 ומערכת גרפית צבעונית VT30H. בנוסף קיימת מערכת כניסות ויציאות ספרתיות מטיפוס DR11C ומערכת תקשורת DMA מטיפוס DR11B הקשורה לבקר הלולאה.

למחשב קשור גם ציוד היקפי לא סטנדרטי שיוצר על-ידינו: ראשית בקר הלולאה הקשור באמצעות ערוץ DMA מטיפוס DR11B אל המחשב וקשור לכל מרכזות הקבוצה ובנוסף מערכת הפעלות פונקציונליות שהיא לוח המכיל לחצנים מוארים שעל כל אחד מהם מסומנת פונקציה מסוימת כמו: "הצג מפת קרינה במתקן", "הדפס רשימת ערוצים שעכרו סף" וכו'. כל לחיצה על לחצן גורמת לפסיקה במחשב והוא קורא איזה לחצן נלחץ. על-פי מספר הלחצן הוא מפעיל תכנית שירות שנדרשה. תכנית זו מדליקה את הנורית בתוך הלחצן שנבחר וזאת על-מנת לאותת למפעיל שבקשתו נתקבלה והיא מטופלת.

בנוסף קיימים עוד 2 לחצנים שהנורית שלהם קשורה לשני צופרים. בזמן חריגה או תקלה באחד המדידים, המחשב, בנוסף להדפסת הורעת האתראה מפעיל גם את אחת הנוריות והצופרים וזאת על-פי חומרת התקלה. המפעיל שרוצה לאשר קבלת ההתראה לוחץ על הלחצן המואר ובה מאותת למחשב שההתראה נקלטה, וזה מצידו מכבה את הנורית והצופר.

מערכת נוספת שצורפה על-ידינו היא האתראה לנפילת מחשב. זוהי מערכת "כלב שמירה" (Watch dog) אשר מפעילה צופר אם לא מגיע אליה פולס מהמחשב אחת לכמה שניות. פולס זה נוצר על-ידי התכנה לאחר שבוצעה בהצלחה סדרת בדיקות לוגיות המאשרות שהן חומרת המחשב והן התכנה פועלים כשורה.



ציור 4.5 מערכת מחשב רמה 3.

### 4.7.3 אופן פעולה

כאמור, למחשב 2 מסופים מטיפוס VT100 ושתי מדפסות LA120. אחד המסופים שמור למתכנת המערכת ומאפשר לבצע שינויי תוכנה בהיקף מוגבל מבלי להפסיק את פעולת המערכת. המסוף השני הוא מסוף המפעיל - בעזרתו מפעיל המתקן פונה למחשב, מבקש טבלות שונות, ביצוע פעולות על-ידי תכניות קיימות במערכת וקבלת דיווח לגבי מצב המערכות ברמה 2 ורמה 1.

המדפסת הראשונה משמשת כמדפסת יומן. כל פעולה שמבצע המפעיל, בין על-ידי פנייה מהמסוף ובין על-ידי לחיצה על לחצן בלוח ההפעלות, נרשמת במדפסת היומן כציון שעת

הביצוע, כך שבמקרה של תקלה ניתן יהיה לחקור בצורה יעילה את פעולות המפעילים לפני התקלה ובזמן האירוע.

בנוסף משמשת מרפסת היומן להרפסת רוחות שונים לפי בקשת המפעיל.

המרפסת השניה היא מרפסת האתראות. ככל חריגה של ערך נמדד כלשהו מהמותר, או תקלה באחת המערכות במתקן מורפסת האתראה המפורטת במרפסת זו בציון שעת האירוע.

מערכת התצוגה הגרפית VT30H היא כלי חשוב מאד מבחינת הקשר מפעיל-תהליך. זוהי מערכת

המאפשרת הצגה של תמונה צבעונית על-גבי מסך טלוויזיה. התמונה מורכבת מאותיות

שיכולות להיות אלפנומריות או בעלות צורה גרפית כלשהי. רפרטואר האותיות

(character set) של המכשיר ניתן לתכנות תוך כדי עבודה, כך שבאופן מעשי מבחר הצורות

שניתן להציג אינו מוגבל. עם זאת, המערכת מהירה מאד הן בשל העבודה באלמנטים של אות

המורכבת מ-6x6 נקודות ולא בנקודות בודדות והן בשל העובדה שהקשר עם המחשב בעשה

ב-DMA. במערכת זו אנו מציגים בצורה ברורה ומהירה להכנה את מצב המתקן. ניתן להציג

את מצב המתקן בשתי צורות: האחת - בצורה של מפה גיאוגרפית של המתקן כאשר בכל איזור

ניתן לראות את שדה הקרינה על-ידי שילוב של צורה, צבע ואינפורמציה מספרית.

מקומות שאירע בהם שינוי מהבהבים עד לאישור המפעיל.

ניתן להגדיל איזור כלשהו שבו מתעניינים (zoom) וזאת לקבלת יותר נתונים. הצורה

השניה, שהיא חדשנית יחסית, מציגה את מצב המתקן בעזרת צורה גיאומטרית כאשר אין

בינה וכיין הצורה הפיזית של המתקן ולא כלום, אולם צורה זו, שהיא אליפסה במצב נורמלי

של המתקן, רגישה מאד לשינויים מהמצב הנורמלי הגורמים לעיוות ניכר בצורה.

המפעיל המאומן יודע להבחין במהירות על-פי העיוות בצורה היכן יש חריגה מהמותר ומהו

סדר הגודל של החריגה.

#### 4.7.4 גיבוי

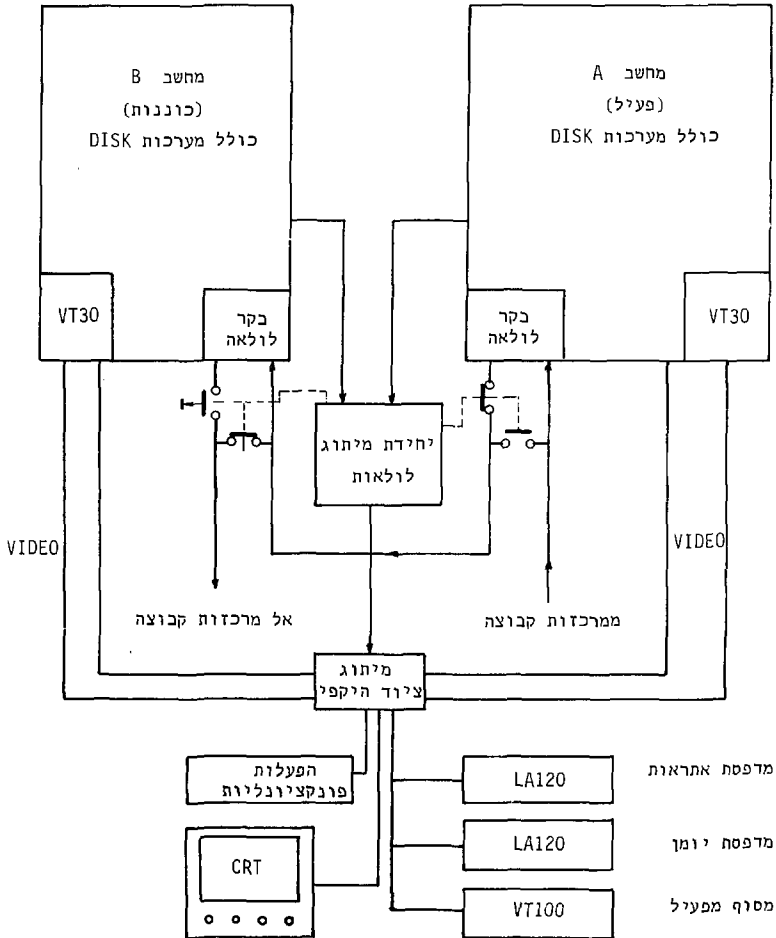
כפי שציינתי קודם לכן, מערכת המחשב אינה חיונית לתיפעול תקין וכטוח של המתקן.

אולם מניסיון הפעלה של המערכת מתברר שמתפתחת אצל מפעילי המתקן תלות מסויימת במחשב

וקשה להם בזמן תקלה לוותר על הרמה הגבוהה של הבדסת אנוש הקיימת בקשר איתו.

לאור זה פותחה מערכת גיבוי אשר אמורה לאפשר זמינות גבוהה בהרכה של מערכת המחשב.





המערכת בנוייה משני מחשבים מטיפוס PDP11/44 כאשר בחלק מהציוד ההיקפי שלהם קיים שיתוף (ראה ציור 4.6). מחשב אחד מתפקד כמחשב הפעיל והשני יכול להיות באותו זמן בתחזוקה או במצב כוננות. כאשר הוא במצב כוננות הוא קולט את כל התשדורות הנעות על-גבי לולאת התקשורת של המחשב הפעיל, אם כי אין הוא משרר על הקו. במירה שעל-פי תוכן התשדורות או בהערך תשדורות מעל לזמן סביר, המחשב בכוננות מזהה נפילת המחשב הפעיל, הוא ינתק את הלולאה מהמחשב הפעיל ויכנס בעצמו לבקרת הלולאה כמחשב פעיל, כל זאת תוך ריווח למפעיל ולמחשב הנופל.

מסלול חליפי להכנסת המחשב הממתין לפיקוד על הלולאה הוא על-ידי נפילת מעגל watch dog של המחשב הפעיל.

#### 4.7.5 תוכנה

בעבודה זו לא אכנס לפירוט של מערך התוכנה שנכתב למחשב רמה 3. אציין רק שרוב התוכנה כתובה בשפה עילית (פורטרן) ומיעוטה באסמבלר. התוכנה מופעלת תחת מערכת הפעלה RSX-11M שהיא מערכת הפעלה לכיצוע תוכנה בזמן אמיתי, כלומר ביצוע אסינכרוני של משימות, כאשר העידור של המשימות השונות נעשה חיצונית. למעשה חבילת התוכנה שנכתבה היא אוסף של משימות (Tasks) המופקדות על הפעילויות השונות של המערכת, משימות אלה מבוצעות על-פי לוח זמנים קבוע - כל כמה שניות, פעם ביום, פעם במשמרת וכו' - או על-פי דרישת מפעיל ממסוף או בלחצן.

### 5 סיכום

בעבודה זו הוצגה מערכת מפולגת והירארכית לבקרת קרינה במתקן גרעיני. כמהלך העבודה גובשו עקרונות הפעולה של המערכת תוך עמידה על דרישות יחודיות שהוכתבו על-ידי המתקן, בעיקר הושם דגש על אמינות ושרידות. המערכת תוכננה, נבנתה ויושמה בהצלחה.

המערכת נותנה תשובה הן לדרישות לגבי פיזור האלמנטים המבקרים וחלוקתם לרמות בלתי תלויות והן לדרישה של ריכוזיות החיפועול בחדר בקרה על-ידי מספר מצומצם של מפעילים.

במהלך העבודה פותחה רשת תקשורת מקומית תוך התבססות על פרוטוקול SDLC. הארכיטקטורה שנבחרה לתקשורת הוכחה כאמינה ופשוטה ליישום ותיפעול.

פיתחו מספר אלוגריתמים לצורך עבודה עם מונים בעלי בסיס זמן משתנה, וזאת לשיפור הסטטיסטיקה בזמן אופטימלי. מבחינה מעשית הוברר כמקרה שלנו שאין צורך בשכלול זה וניתן לעבוד עם בסיס זמן קבוע.

במהלך עבודה זו פותחה על-ידינו הטכניקה של מאגר נתונים מבוזר ובעל יתירות, כלומר, במערכת שהיא מפולגת והירארכית, הנתונים החיוניים ליחידות השונות במערכת אינם מוחזקים במקום מרכזי אחד, אלא הם מצויים ביחידות השונות עצמן וכן במחשב המרכזי, כך שקטע מסויים של מאגר הנתונים יכול להופיע 3 פעמים בשלוש רמות שונות, ועל-ידי כך שרידות הנתונים החיוניים גם היא גדלה כשם ששרידות המערכת בכללותה גדלה. הנסיון שנצבר בכשנתיים עבודה ביישום טכניקה חדשנית זו מצביע על יתרונותיה. מערכת התצוגות שהוזכרה לעיל, גם היא הוכחה כפתרון זול ויעיל ויושמה בשנים אלה בכמה מערכות נוספות.

לגבי אמינות: המערכת עובדת בצורה מלאה כשנתיים, בתקופה זו הופעלה ברציפות 24 שעות ביממה - והושבתה בשל תקלות לשעות בודדות בלבד. מובן שמודולים בודדים מתקלקלים אם כי לעיתים רחוקות, אך זמן החלפת מודול מרגע גילוי התקלה הינו דקות בודדות, כך שהמערכת אינה מושבתת לזמן רב, וגם השבתה זו אינה כללית לכל המתקן.

## 6 מסקנות והמלצות

הפתרון שנבחר ויושם נראה מוצלח, אם כי מובן שאין הוא פתרון יחיד. במהלך העבודה נראו כמה כיוונים שאנו ממליצים להמשיך בבדיקתם.

ראשית, בנושא רשת התקשורת: הבחירה של התקשורת כלולאה תוך שימוש בפרוטוקול SDLC נראה מוצלח, והשיפורים המוצעים הם הגדלת קצב התקשורת שעומד כיום על 8000 ביט לשנייה, לפחות בסרר גדול אחר אם לא בשניים. האפשרות הטכנית לכך קיימת כיום בעזרת רכיבים הנמצאים בשוק. שיפור זה יאפשר הגדלת קצב התישאל על-ידי המחשב המרכזי, הוספת מספר רב יותר של תחנות כלולאה ושילוב תחנות מסוגים אחרים. כמו-כן מומלץ לבדוק העבודה כלולאה תוך שימוש בסיבים אופטיים, דבר שיביא לחסיגות רעש גבוהה במיוחד, כמו-כן תקשורת טורית כלולאה מתאימה במיוחד ליישום של סיבים אופטיים.

נושא הגיבוי הוא נושא חשוב והוזכר בפרק על מערכת המחשב המרכזי. קיימת כיום פעילות ערה בנושא מערכות מחשבים כעלות יתירות וגודש לצורך הגדלת האמינות, ומדובר באפשרות של יישום במערכת בת שלושה מחשבים להגדלת האמינות.

מומלץ לבדוק נושא הגיבוי בדמות נמוכות יותר, למשל על-ידי ניתוב אותות מגלאי קריגה אחד לשתי יחידות בקרה המרוחקות זו מזו.

כנוסף קיימת אפשרות לגיבוי על-ידי הוספת מרכזת קבוצה נוספת בתוך לולאה קיימת, או הוספת לולאת גיבוי שתכלול כמה קבוצות ביחד.

כיוון עבודה נוסף שנראה מבטיח הוא שילוב מערכת הבקרה המתוארת כמערכת כללית יותר וזאת על-ידי פיתוח תחנות מסוגים שונים לצורך איסוף נתונים אחרים כמו לחץ, טמפרטורה ועוד. במידה שהמתמרים כשדה יתנו תפוקה של תדר יחסי למדידה, הרי שניתן יהיה להשתמש באותן יחידות בקרה הקיימות כעת לצורך איסוף הנתונים.

כמו-כן ניתן לפתח תחנות, היושבות על הלולאה בדומה ליחידות הבקרה ומבצעות פעולות שונות במחקן כמו סגירת ברזים וכו'.

כראי לציין כאן, שעל בסיס מערך התקשורת שפותח עבור מערכת זו, כולל בקר הלולאה השייך למערכת המחשב, פותחה ונבנתה בקמ"ג מערכת דיווח נוכחות עובדים ממוחשבת - מערכת "אורלוגין" - הפועלת בהצלחה למעלה משנה.

כפי שכתבנו במבוא, המערכת שנבנתה היא מקרה פרטי של מערכת בקרה ואיסוף נתונים בהיקף גדול ואכן ניתן לממש את הארכיטקטורה שלה כמלואה או בצורה חלקית במערכות בקרה שונות כשדה התעשיית ומוסדות המחקר, כאשר המשותף למערכות אלה הוא הצורך בתפעול פשוט ואמינות גבוהה. יתרון מיוחד יש למערכת כזו במתקן שפיזורו הגיאוגרפי גדול היות שאז ניתן לפזר את האלמנטים השונים ולחברם רק באמצעות לולאת התקשורת.

#### הכנת תורה

ברצוני להודות לדר' נ' צורי על הנחייתו המסורה ותרומתו להשלמת עבודת גמר זאת. למר י' שפנצר שהיה שותף בגיבוש הרעיונות והתכנון הראשוני בפיתוח המערכת העומדת ביסוד עבודה זו. לחברי לעבודה בקמ"ג אשר בנו את המערכת ועמלו רבות יחד אתי בבעיות חומרה ותוכנה. לעובדי ההוצאה לאור ובמיוחד ל-ד' מקבת על העריכה ול-לידיה זיסק על ההדפסה. תודה להנהלת קמ"ג ולממונים עלי אשר אפשרו לי ביצוע עבודת הגמר במסגרת עבודתי.

## נספח 1. תיאור טכני מפורט של המערכת

### נספח 1.1 כללי

- כפי שהוסבר בגוף העבודה, מערכת הבקרה ההירארכית מומשה בקמ"ג.
- בנספח זה נביא תיאור מפורט של המרכיבים הבאים:
- מארז בקרת קרינה על מרכיביו,
  - מערכת התצוגות,
  - רשימת שרטוטים, שניתן לעיין בהם והשמורים לצורך זה בכתבי המלאכה לאלקטרוניקה בקמ"ג (טבלה א-1).

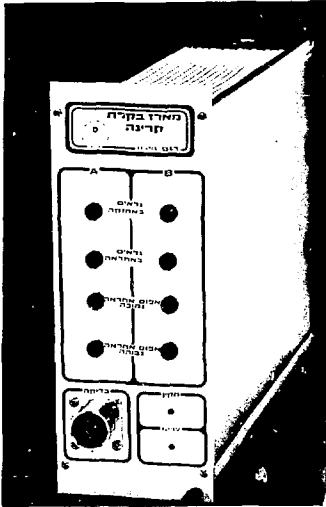
### נספח 1.2 מארז בקרת הקרינה

- מארז בקרת הקרינה (ציור א-1) בנוי מהיחידות הבאות:
- (א) מארז: כולל זוויד, ספקי כוח, מחברים ומערכת ממסרים לעקיפת לולאות תקשורת;
  - (ב) מרכזת קבוצה: אחת לכל מארז, מאפשרת בקרה מקומית ותקשורת עם יחידות הבקרה;
  - (ג) יחידת בקרה: 4 יחידות בקרה לכל מארז.
- כל יחידת בקרה מסוגלת לטפל בתפוקותיהם של 24 גלאים גרעיניים.

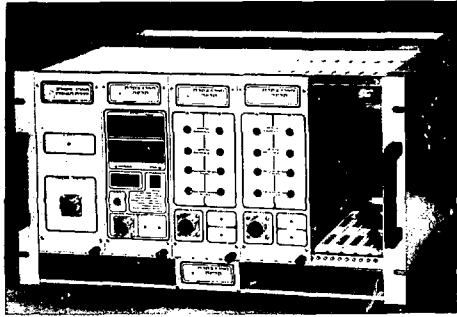
### נספח 1.3 יחידת בקרה

#### נספח 1.3.1 תיאור

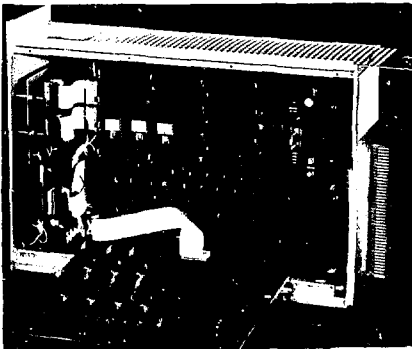
- כל יחידת בקרה מסוגלת לטפל בתפוקותיהם של 24 גלאים גרעיניים המחולקים לשתי קבוצות בנות 12 גלאים כל אחת.
- לכל קבוצת גלאים מוקצות 2 תפוקות להפעלת ממסדים המסומנות ב"אתראה נמוכה" ו"אתראה גבוהה". למעשה לגבי מערכת הבקרה מקובל לחבר את ממסר "אתראה גבוהה" כך שיבצע פעולת הגנה ראשונית.
- היחידה מזוודת במודול CAMAC, קשורה למרכזת בעזרת לולאת SDLC. (ראה ציורים א-2, א-3).



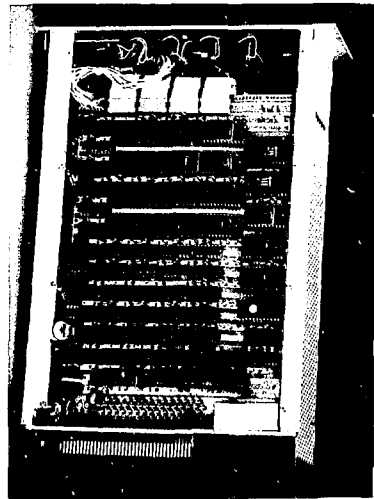
ציור 2א יחידת בקרת קרינה.



ציור 1א מארז בקרת קרינה.



ציור 4א מרכזת קבוצה - פרוש.



ציור 3א יחידת קרינה - פרוש.

### נספח 1.3.2 מבנה

היחידה בנוייה משלושה כרטיסים: כרטיס CPU, כרטיס מונים וכרטיס לוח קדמי.

(א) כרטיס CPU - מכיל מיקרו מחשב 8085 בתוספת הציוד ההיקפי: זכרון לתוכנה (firmware) המורכב משלושה רכיבי 2716 וזכרון לנתונים של 3.25K המבוסס על רכיבי 2142 ו-8155. תקשורת למרכזת הקבוצה בלולאת SDLC הממומשת על-יד הרכיב 8273. העברת הנתונים נעשית ב-DMA.

בכרטיס זה נמצאים גם הרכיבים המטפלים בדחיפת ממסרי האתראה, הפעלת הלחצנים והנוריות ומעגל watch-dog;

(ב) כרטיס המונים - כרטיס זה (ראה טבלה א-1, מספרים 5, 6, 7, 8, 9) מכיל מערכת של מונים מתוכנתים מטיפוס 8253 של חברת אינטל. לצורך קריאה מהירה של הספירות שנאגרו במונים החלטנו לפנות אליהם בטכניקה של DMA אולם כתובותיהם של המונים אינן רציפות במרחב הזכרון ולכן נבנתה מערכת של התמרת מרחב כתובות המבוססת על PROM ומערכת של מפענחים מטיפוס 8205; כמו-כן כולל כרטיס המונים מערכת של מרכבים המאפשרת, לצורך בדיקה, להעביר למונים תדר מכוילל ממכשיר חיצוני.

(ג) כרטיס לוח קדמי (ראה טבלה א-1, מספר 1). זהו כרטיס פשוט שאין צורך לפרטו מעבר לשרטוט.

### נספח 1.4 מרכזת קבוצה

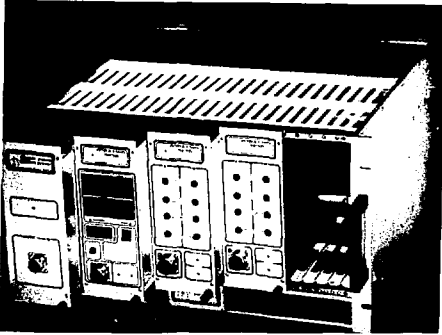
#### נספח 1.4.1 תיאור

מרכזת הקבוצה מטפלת בארבע יחידות בקרה. המרכזת קשורה אליהן בלולאת תקשורת SDLC הנקראת לולאה משנית כמו-כן היא מהווה תחנה בלולאת התקשורת של מחשב רמה 3 הנקראת לולאה ראשית.

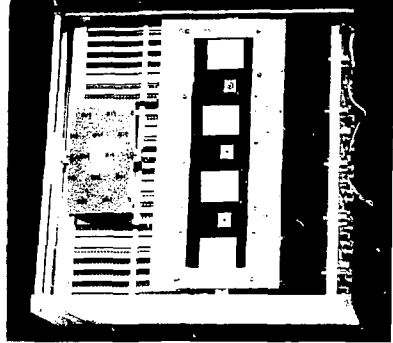
המרכזת מהווה גם תחנה בלולאת התצוגות. קשר מקומי עם המרכזת מתבצע הן באמצעות הפנל הקדמי על-ידי מפסקים ספרתיים וצגים ספרתיים והן באמצעות מסוף מקומי הקשור בקו טורי RS 232.

המרכזת מזוורת במודול CAMAC. (ראה ציור א-4).

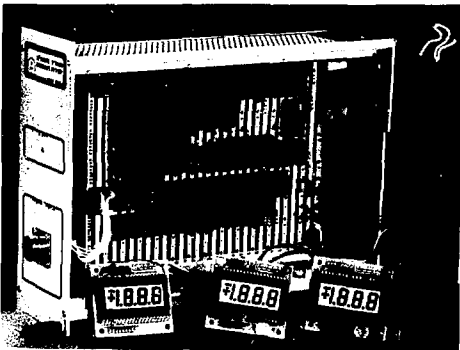




ציור א6 מארז בקרת קרינה.



ציור א5 מארז בקרת קרינה - מבט מלמטה על ספקי הכוח.



ציור א8 יחידת תצוגות על אלמנטי תצוגה.



ציור א7 בקרת תצוגות.

#### נספח 1.4.2 מבנה

המרכזת בנוייה משלושה כרטיסים: CPU, כרטיס דוחף ממסרים וכרטיס לוח קדמי.

(א) כרטיס CPU - הכרטיס המפורט בטבלה א-1, מספרים 12 עד 15, מכיל מיקרו-מחשב מטיפוס 8085, זכרון לתוכנה (firmware) בהיקף של 16K הממומש על-ידי רכיבי 2732, וזכרון נתונים 3.25K הממומש על-ידי רכיבי 2142 ו-8155. תקשורת הלולאות ממומשת על-ידי רכיבי 8273 הקשורים בטכניקה של DMA. יש לציין שמסיבות של חסינות רעש הלולאות השונות מצומדות אופטית. כרטיס CPU גם מטפל בקשר עם המסוף המקומי ועם הפנל הקדמי. כמו-כן מעביר פקודות לכרטיס דוחף ממסרים.

(ב) כרטיס דוחף ממסרים - זהו כרטיס עזר המשמש להפעלת ממסרי אתראות שונים במתקן. נעשה כאן שימוש במעגל דחיפה מוגן קצר והספק מטיפוס LM395. (ראה טבלה א-1, מספר 16).

(ג) כרטיס לוח קדמי - כרטיס זה פשוט, כולל מפסקים, מפסקים ספרתיים ותצוגות. (ראה טבלה א-1, מספרים 10, 11).

#### נספח 1.5 מארז הבקרה

מארז הבקרה הוא מטיפוס CAMAC, אם כי החיורט הפנימי שלו אינו עונה לסטנדרט זה. המארז מפורט בציורים א-5, א-6 ובמספרים 17 עד 20, בטבלה א-1, וכולל ספקי כח למתחים 24V ו-5V. כמו-כן כולל המארז כרטיס ממסרים המאפשרים לתקשורת כלולאות להימשך גם כאשר אחת מהתחנות בלולאה נופלת.

#### נספח 1.6 מערכת התצוגות

מערכת התצוגות מהווה חלק ממארז כללי הנקרא "מארז משולב" שאינו נוגע לעבודה זו. המערכת כוללת מודול הנקרא: יחידת תצוגות (ראה ציורים א-7, א-8 ומספרים 21 עד 26 בטבלה א-1). זהו מודול המבוסס על מיקרו-מחשב 8085 הקשור למרכזות הקבוצה בלולאת SDLC ומושך מהן נתונים. נתונים אלה מוצגים על לוחות תצוגה מפורזים על-ידי משלוח הסגמנטים הדרושים בצורה טורית חוץ שימוש ב-shift registers. במקרה שהתצוגה רחוקה מהיחידה השולחת אנו מוסיפים משדר ומקלט (ראה טבלה א-1, מספרים 27, 28).

טבלה א-1 רשימת השרטוטים השמורים ביחידה.

מספר סודר	מספר השרטוט	נושא השרטוט
1	3628	יחידת בקרה - חיווט לוח קדמי
2	3630	יחידת בקרה - כרטיס CPU, 1/1
3	3631	יחידת בקרה - כרטיס CPU, 2/1
4	3632	יחידת בקרה - כרטיס CPU, מקום רכיבים
5	3633	יחידת בקרה - כרטיס מונים, כללי
6	3471	כרטיס מונים - בלוק 2
7	3472	כרטיס מונים - בלוק 3
8	3473	כרטיס מונים - בלוק 4
9	3474	כרטיס מונים - בלוק 5
10	3635	מרכזת קבוצה - חיווט לוח קדמי
11	3449	מרכזת קבוצה - לוח קדמי, יחידת תצוגה
12	3636	מרכזת קבוצה - כרטיס CPU, 1/3
13	3637	מרכזת קבוצה - כרטיס CPU, 2/3
14	3640	מרכזת קבוצה - כרטיס CPU, 3/3
15	3638	כרטיס CPU - מקום רכיבים
16	3362	מרכזת קבוצה - כרטיס דוחף
17	3361	מארז בקרת קרינה - ספקים
18	3501	מארז בקרת קרינה - מייצב 5A
19	3382	מארז בקרת קרינה - כרטיס ממסרים לעקיפה
20	3629	מארז בקרת קרינה - חיווט המארז
21	3307	יחידת תצוגות - לוח קדמי
22	3311	יחידת תצוגות - כרטיס CPU, מקום רכיבים
23	3309	יחידת תצוגות - כרטיס CPU, 1/2
24	3310	יחידת תצוגות - כרטיס CPU, 2/2
25	3308	יחידת תצוגות - מרשם כתובות
26	3314	לוח תצוגה - יחידת תצוגות
27	3978	יחידת תצוגות - מקלט קווי
28	3976	יחידת תצוגות - משדר קווי

הערה: ניתן לעיין בשרטוטים בבחי המלאכה לאלקטרוניקה בקמ"ג.

## נספח 2. גלאי הקרינה

### נספח 2.1 כללי

אחר האלמנטים החשובים במערכת המתוארת הוא גילויי הקרינה הגרעינית, המהווה את רמה 0 במערך הכללי והוא הנספק למערכת את הנתונים לגבי שדה הקרינה. נתונים המעובדים ומועברים במעלה הרמות השונות. אין כוונה להיכנס בעבודה זו לפרטים טכניים לגבי סוגי המונים וכן לגבי מהות שדות הקרינה הנמדדים וגודלם, אולם תוצגנה מספר בעיות שהן יחודיות לנושא מדידת קרינה גרעינית.

### נספח 2.2 גלאי קרינה

גלאי קרינה הוא כל מכשיר או אלמנט אשר מאפשר לנו למדוד ולזהות קרינה גרעינית. הקרינה יכולה להיות של פוטונים, מסוג קרינת גמא או x-ray, יכולה להיות קרינה של נויטרונים ויכולה להיות קרינה של חלקיקים טעונים - קרינת  $\alpha$  או קרינת  $\beta$ . קיים מגוון רחב מאד של סוגי גלאים ונסקור כאן רק את הידועים והמקובלים שבהם.

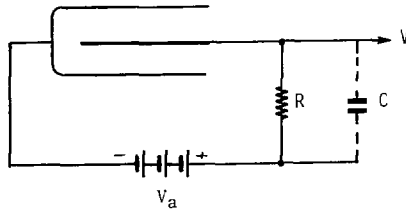
#### נספח 2.2.1 מונה גייגר

שופרת מתכת המכילה גזים בלחץ נמוך ואלקטרודה מרכזית (ציור 1), בין השופרת והאלקטרודה קיים מתח גבוה יחסית 300-1500 V (תלוי בסוג הגז במונה). ברגע שחלקיק טעון, או פוטון, פוגע בגז, הוא גורם ליינון הגז, כלומר להיווצרות אלקטרונים ויונים חיוביים. בהשפעת המתח האנודי נעים האלקטרונים במהירות גבוהה בכיוון לאנודה (החוט המרכזי) והיונים החיוביים נעים במהירות איטית יותר לעבר הקתודה.

המטען המצטבר על האנודה גורם לשינוי בפוטנציאל שלה התלוי בגודל המטען ובקיבול המערכת c, לכן כתוצאה מחדירת חלקיק טעון לחלל המונה נוצר על האנודה פולס מתח שלילי  $\Delta v$ :

$$\Delta v = \frac{n q_0}{c} \quad [1. ב.]$$

כאשר n הוא מספר האלקטרונים המגיעים לאנודה,  $q_0$  הוא מטען האלקטרון ו-c הוא קיבול המערכת.



ציור ב1 מונה גייגר - תיאור סכימטי.

היות שהאצת האלקטרונים לקראת האנודה תלויה בעצמת השרה החשמלי בינה לבין הקטודה אפשר להבחין בכמה תחומי פעולה אופייניים הנקבעים על-ידי המתח האנודי  $V_a$ .

כמתח נמוך האנרגיה של האלקטרונים אינה מספיקה כדי שיוכלו לגרום ליינון נוסף על-ידי התנגשויות עם אטומי הגז בדרכם לאנודה, כך שמספר האלקטרונים שמגיע לאנודה ישווה למספר הראשוני שנוצר על-ידי הקרינה, פחות המספר שנעלם על-ידי הקומבינציה עם היונים החיוביים, שהוא זניח בדרך כלל.

תחום עבודה זה נקרא תחום תא היינון וכו גובה הפולס  $\Delta V$  אינו תלוי במתח התא. תא יינון הוא למעשה לא רק איזור עבודה של שפופרת גייגר אלא למעשה סוג של גלאי קרינה המאופיין בפולס מאד נמוך ורודש מגבר חיצוני בעל כושר הגברה גבוה.

אם נעלה את מתח התא מעל למתח מסויים יתחילו להיווצר, עקב התנגשויות, יונים משניים, תהליך זה יתחיל בקרבתה המיידית של האנודה, מקום בו השדה הוא חזק ביותר. נסמן ב-A את מספר זוגות היונים הנוצרים על-ידי כל אלקטרון ראשוני בשעת נרירתו של האנודה, אזי גובה הפולס יינתן על-ידי הנוסחה:

$$\Delta V = \frac{Anq\phi_0}{c} \quad [2.ב]$$

כאשר  $n$  הוא מספר האלקטרונים הראשוניים. ל-A אנו קוראים בשם "הגברת גז" והיא תלויה במבנה המונה. בתחום הפרופורציונלי A בלתי תלויה ככושר היינון של הקרינה הפוגעת כי אם רק במתח האנודי. גם בגלאי זה, במתח אנודי מסויים וקבוע גובה הפולס יהיה ביחס ישר למספר היונים הראשוניים ולכן לאנרגיה של החלקיק (או הפוטון) שנכנס. אולם קצת פולס זה יגרל עם הגדלת המתח באנודה. יתרונו של המונה הפרופורציונלי לעומת תא היינון טמון בעיקר בהגברתו הפנימית הגבוהה.

מעל מתח אנודי מסויים  $V_g$  גובה הפולס  $\Delta V$  אינו תלוי במספר היונים הראשוניים הנוצרים על-ידי החלקיק המיינן. מתמת השדה החזק גורם אלקטרון ראשוני בודד ליינון המתפשט לאורך כל המונה, לכן, במתח אנודי מסויים, כל הפולסים שווים בגודלם ללא תלות בכמות האנרגיה שאיבד החלקיק המיינן. הפולסים עולים בגודלם עם העלאה נוספת של המתח האנודי ומגיעים במונה טיפוס יעד כמה וולטים לעומת מיקרו-וולטים ספורים במונה מסוג תא יוניזציה.

כנוסף לגלאי הקרינה מסוג שפופדת הגז קיימים עוד שני סוגים נפוצים - הנצנץ וגלאי מצב מוצק.

## נספח 2.2.2 מונה נצנץ

מכוסס על תופעה של הופעת נצנוץ אור כחומרים מסויימים בזמן בליעת קרינה מייננת על-ידם.

הגלאי מורכב מגביש או מחומר אחר בעל תכונה זו המוצמד אופטית לגלאי אור, כדרך כלל מטיפוס מכפילור (photo multiplier) שהוא בעל רגישות גבוהה במיוחד ויחס טוב של אות לרעש.

עם חדירת קרינת גמא לנצנץ, האנרגיה שלה נהפכת על-ידי אחד משלושה תהליכים: אפקט קומפטון, אפקט פוטואלקטרי, או יצירת זוגות - לאנרגיה קינטית של אלקטרונים. אלה עוברים עקב כך לרמה אנרגטית מעוררת, וכאשר הם יורדים מרמה זו, כתוך פרק זמן של  $10^{-8}$  שניות הט פולטים פולס של אור, הפולס יכול להיות יחסי לאנרגיה של הפוטון הפוגע בגביש או נמוך יותר בהתאם למנגנוני העירור וגודל וגיאומטריה של הגביש. הגבישים יכולים להיות אי-אורגניים, ודוגמה מקובלת הוא גביש NaI עם זיהום מכוון של Tl. כמו-כן יכול להיות גם גביש אורגני - נוזלי פלסטי וכו'.

### נספח 2.2.3 מונה מצב מוצק - *solid state detectors*

פועל באופן עקרוני כמו תא יוניזציה אולם משחמש בחצי מוליך מוצק, סיליקון או גרמניום במקום גז כתווך כו מתבצעת היוניזציה. לגלאי זה מספר יתרונות לעומת גלאי גז:

- (א) לכמות נתונה של אנרגיה האובדת בתוכם לחלקיק מיינך נוצרים פי 10-5 נושאי מטענים חופשיים במוצק;
- (ב) הן האלקטרונים והן החורים הם בעלי מוביליות גבוהה ומרחקי האיסוף קצרים יחסית, לכן זמני האיסוף יורדים עד-כדי כמה ננו-שניות;
- (ג) על-ידי שימוש בסיליקון או בגרמניום בעלי דרגת ניקיון גבוהה פותרים ומפחיתים בעיות הנגרמות עקב רקומבינציה של נושאי מטען חופשיים;
- (ד) בעיות של חוסר יציבות בזמן, שהן אופייניות לעבודה בגלאי גז המכיל אי-ניקיונות, נמנעות בגלאי מצב מוצק ועל-ידי זה מתאפשרת עבודה בניסויים לטווח ארוך;
- (ה) יתרונות נוספים - רזולוציה גבוהה ומימדים קטנים יחסית.

### נספח 2.3 סוגי גלאים של מצב מוצק

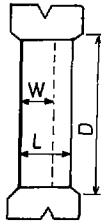
נסקור עתה סוגים שונים של גלאי מצב מוצק:

#### 2.3.1 גלאים מטיפס *surface barrier*

כאשר חלקיק טעון (אלקטרון, פרוטון, חלקיק  $\alpha$  או מוצר ביקוע) פוגע בגביש סיליקון הוא יוצר זוגות חור-אלקטרון בקצב של 1 זוג לכל 3.6 אלקטרון-וולט של אנרגיה הנבלעת בגלאי. קצב ייצור זה הוא בלתי תלוי באנרגיית החלקיק בתחום רחב יחסית של אנרגיות, ומכאן שתגובת הגלאי היא ליניארית בתחום אנרגיות זה, מותנה בזה שעובי השכבה הרגישה גדול מטווח החלקיקים בחומר  $x$  ושהשדה החשמלי גבוה מספיק על-מנת לאסוף את הזוגות לפני שיעברו רקומבינציה.

מבנה ועקרונות גלאי *surface barrier* הוא בעצם דיודה בעלת שטח רחב, עם שכבה דקה של חומר  $q$  מכסה את השטח הרגיש של חומר מטיפוס  $n$ . מגע חשמלי לדיודה נעשה על-ידי שכבה דקה של זהב (צפיפות  $40 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) על שכבת  $q$  ושכבה עבה מעט יותר של אלומיניום בצד השני.

תצורה טיפוסית של גלאי כזה אנו רואים בצירור ב2. D הוא הקוטר האפקטיבי של הגלאי, w עומק איזור החסר (האיזור האקטיבי), L הוא עובי כולל של הגביש  $\gamma$ -L הוא עובי של איזור בלתי פעיל.



צירור ב2 גלאי מטיפוס surface barrier.

הגלאי רגיש אך ורק באיזור הפעיל שבו קיים שדה חשמלי הנוצר על-ידי הממתח ההפוך Vb. קרינה מיננת החודרת לאיזור האקטיבי יוצרת זוגות חור-אלקטרון המסולקים על-ידי השדה החשמלי וגורמים פולס חפוזה יחסי למספר הזוגות שנוצרו - וכמקרים רבים יחסי לאנרגיה של החלקיק הפוגע.

עומק השכבה האקטיבית משחנה לפי השורש של הממתח הניתן לגלאי (פחות 0.3 V ממתח עצמי) וביחס הפוך לשורש צפיפות האי-ניקיונות.

$$W \approx 0.5 (gm \cdot Vb)^{1/2} \quad [3.ב]$$

כאשר:

W - עובי במיקרונים;

gm - התנגדות ב-cm $\cdot\Omega$  של הסיליקון בטמפרטורת החרר;

Vb - ממתח בוולטים.



פרמטרים המשפיעים על אופיינים וביצועים:

- (א) שטח - ככל שנגדיל את השטח נשפר את היעילות של הגלאי, אולם יחד עם השטח יגדל גם קיבול הגלאי וזה מצידו מגדיל את רעש המגבר ורעש הצומח;
- (ב) עומק אקטיבי - לצורך אנליזה אנרגטית של הקרינה הפוגעת יש צורך שכל הקרינה תיבלע בשטח האקטיבי, כלומר עומק אקטיבי גדול מספיק;
- עם עליית העומק האקטיבי יורד גם הקיבול - דבר המשפר ביצועי הגלאי. החסרון היחיד של עליית העומק האקטיבי הוא בעליית הרעש עקב הגדלת הנפח האקטיבי;
- (ג) קיבול - השפעתו העיקרית של קיבול הגלאי היא בהגדלת הרעש מהמגבר. באפליקציות בהן חשוב רעש נמוך יש צורך בהקטנת הקיבול על-ידי הגבלת השטח האקטיבי או הגדלת העומק האקטיבי;
- (ד) עוצמת שדה חשמלי - השדה החשמלי המינימלי הדרוש לשם איסוף מלא של החלקיקים תלוי במסה שלהם, כאשר חלקיקים כבדים יותר דורשים שדה חזק יותר;
- (ה) מתח פריצה - מתח זה מהווה כמובן סף עליון לממתח אותו נוכל לתת לגלאי;
- (ו) זרם זליגה אחורי - זרם זה אינו מפריע באופן עקרוני למדידה (הנעשית בפולסים) אולם הוא יכול להצביע על קיום רעש גבוה בגלאי.

קיימים עוד כמה גורמים ומאפיינים החשובים לביצוע הגלאי:

- רזולוציה אנרגטית;

- רעש בגלאי;

- זמן עליית הפולס;

- אחידות העובי;

- עמידות לנזקי קרינה.

נספח 2.3.2 גלאים מטיפוס *GeLi - Lithium drifted Ge*

בגלאי זה אנו משתמשים למדידה וזיהוי אנרגיה של פוטונים - קרינת  $\gamma$  וקרינת  $x$  אלה הם רכיבים של חצי מוליך המכיל איזור  $p$ , איזור  $n$  ואיזור אינטרנסי (i). הגלאי בנוי מגביש גרמניום מטיפוס  $n$  בעל איכות גבוהה במיוחד, עם ליחיום מטיפוס  $n$  המיושם בדיופוזיה על-פני הגביש ונסחף לתוכו לכיוון המרכז תחת שדה חשמלי חזק ותנאים מבוקרים בקפידה.

החליך זה מקזז בדיקנות את זיהומי p העודפים שנמצאים בגרמניום בצורה מקורית ועל-ידי זה יוצר איזור אינטרינסי - כעל התנגדות גבוהה.

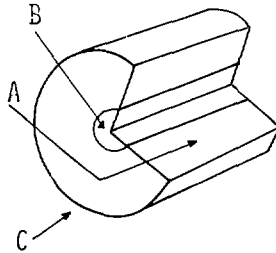
נראה את התצורה המתקבלת בתמונה, כאשר A הוא האיזור האינטרינסי, B איזור p והקליפה החיצונית היא c.

מבנהו האטומי של הגרמניום האינטרינסי דורש טמפרטורה נמוכה במיוחד על-מנת לשמור את האטומי הליתיום במקום, טמפרטורה זו מושגת על-ידי זיווד הגלאי בקריוסטט ואחזקתו בטמפרטורה של חנקן נוזלי.

פרמטרים המשפיעים על ביצוע הגלאי:

- יעילות - יעילותו של גלאי GeLi נמדדת בהשוואה לגלאי מטיפוס נצנץ NaI עבור אנרגיה מסוימת (1.33 meV). קביעה שרירותית ומשמשת רק לצורך השוואה.

- רזולוציה - רזולוציה היא כושר ההפרדה האנרגטית של הגלאי. הגורם המגביל את כושר ההפרדה, מלבד הרעש במגבר, הוא השינוי הסטטיסטי במספר זוגות היונים הנוצרים לאנרגיה נתונה E. תנודות סטטיסטיות אלה קשורות למקדם פאנו (Fano factor).



ציור 3

גלאי מטיפוס GeLi.

התפוקה  $\gamma$  (yield) תוגדר כמספר זוגות אלקטרון-חור שנוצרים עבור אנרגיה E, הואריאנט  $\sigma^2$  הוא השגיאה בתפוקה  $\gamma$ .

אם מספר ממוצע של אלקטרון-וולט הגורם ליצירת זוג הוא  $\epsilon$  אזי:

$$\gamma = \frac{E}{\epsilon} \quad [4b]$$

ומקדם פאנו:

$$F = \frac{\sigma^2}{E/\epsilon} \quad [5b]$$

במקרים שאין תהליכים מתחרים ליצירת זוגות אלקטרון-חור הרי כל האנרגיה תלך לתהליך זה, ונקבל  $F = 0$ . לעומת זה אם הסיכוי ליצירת זוגות הוא נמוך ביותר כלומר  $\epsilon$  גדול ואז  $F = 1$ . על-מנת לקבל את הרזולוציה ב-keV נפתור המשוואה של  $F$  לקבלת  $\sigma$  והתוצאה מומרת ל-keV על-ידי הכפלת  $\sigma$  ב- $\epsilon$ .

$$\text{resolution} = \epsilon \sigma = \epsilon \sqrt{\frac{FE}{\epsilon}} = \sqrt{\epsilon F F} \quad [6כ]$$

(ניתן לקבל את הרוחב בחצי-גובה FWHM על-ידי הכפלת התוצאה לעיל במקדם (2.35).

#### נספח 2.4 מעגלי עיבוד פולס

המשותף לכל הגלאים שתיארנו בפרק זה (פרט לתא י'ניזציה כתנאים מסויימים), שהם מפיקים פולסים שקצבם וגדלם תלויים בעוצמת שדה הקרינה ולעיתים באנרגיה של שדה זה.

צורת הפולס המקורית היוצאת מהגלאי אינה נשמרת במהלך העיבוד ואנו משנים אותה במעגלי pulse shaping מהסיבות הבאות:

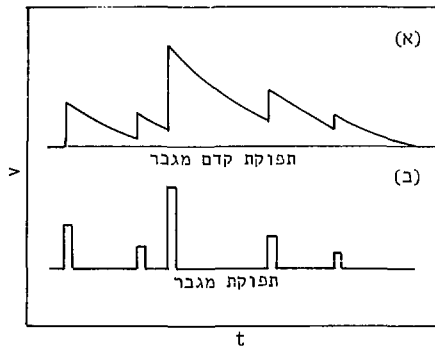
- (א) מניעת חפיפה: השפעת כל פולס בודד צריכה להיעלם בתוך זמן שיהיה קצר יחסית למרווח הממוצע בין פולסים, אולם יש לשמור את האינפורמציה האגורה בפולס. אם לא נקצר את זמן התגובה - הפולסים יחפפו ויגרמו לשגיאה במדידת האמפליטודה שלהם. מעגלים לקיצור משך הפולס - גזירה או קיצוץ - משמשים בשלב זה.
- (ב) שיפור יחס אות לרעש: מקורות הרעש שאין למנוע אותם במגבר ובגלאי עצמו, הם בעלי רוחב סרט גבוה יחסית לרוחב הסרט של האות הרצוי. מעגלי קיצוב מתאימים ידגישו את האות הרצוי ויקטינו את הרעש, ומתוך כך ישפרו יחס אות לרעש ועמו את רזולוציית המערכת.
- (ג) חיבור נוח למיכשור: לעיתים לאחר מעגלי שיפור הפולס ושינוי הצורה שלו יש צורך למתוח אותו על-ידי מעגל stretching וזאת על-מנת שיתאים לדרגות הגברה ועיבוד אותות הקיימות במערכת.

נספח 2.5 שיטות עיצוב פולסים

2.5.1 נספח 2.5.1 אות התפוקה של קדם מגבר

בדרך כלל אות התפוקה של קדם מגבר ניתן לקירוב על-ידי פונקציית מדרגה. כלומר, זמן עלייה קצר וזמן דעיכה גבוה מאוד. גדלים טיפוסיים הם 100 ns זמן עלייה ודעיכה, עם קני"ע זמן של 50  $\mu$ s.

בעבודה רגילה הפולסים הבאים עולים על "זנבו" של הפולס, היות שאמפליטודת הפולס משתנה וזמן ההופעה של כל פולס הוא מקרי, הרי שצורת הגל ביציאה מקדם מגבר היא מאד בלתי רגולרית כפי שנראה בציור 4א).



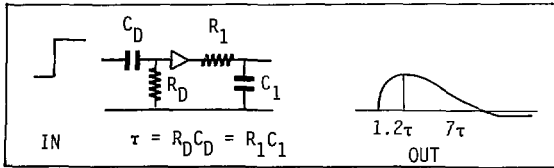
ציור 4 השוואת תפוקת קדם מגבר למגבר.

כל האינפורמציה המעניינת אותנו נמצאת למעשה בעלייה המדרגה של הפולס בתפוקת קדם המגבר, לכן במעגלי העיצוב שבמגבר האות אנו מסללים את המרכיב האיטי מהאות ומקבלים פולסים בודדים שהאמפליטודה שלהן מייצגת את האות המקורי. דוגמה לכך נראה בציור 4ב').

במקרה שקצב הפולסים גבוה במיוחד, הרי גם פולסים צרים אלה עלולים לחפוף ולגרום לשגיאה.

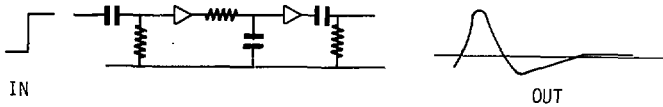
נספח 2.5.2 מעגלי עיצוב RC

נסקור בקצרה כמה סוגים של מעגלי עיצוב פולס המשתמשים במערכות קבל-נגר. המעגל הבסיסי הוא CR-RC, כלומר מעגל גזירה ומעגל אינטגרציה:



ציור ב5 מעגל עיצוב CR-RC.

מעגל עדיף הוא מעגל הגזירה הכפולה. יתרונה בכך שהוא נותן פולס תפוקה דו-קוטבי ומפחית בכך את חוזות קו האפס (baseline shift) כמגבר.



ציור ב6 מעגל גזירה כפולה.

מעגל זה שימושי בעיקר בעבודה עם קצבים גבוהים. ראוי לציין שמעגלי גזירה ואינטגרציה אלה אינם נותנים תפוקה שניתן לחשבה על-ידי גזירה ואינטגרציה באופן מתימטי טהור.

2.5.3 מעגלים אקטיביים - עיצוב גאומטרי

בעזרת מעגלי סיבון בעלי משוּב אקטיבי ניתן לקבל צורת פולס הקרובה לצורתו של הפילוג הגאומטרי. העיצוב לצורה זו נעשה על-ידי מספר רב של אינטגרציות המלוות בגזירה RC אחת. אם נקבל פולס בעל צורה גאומטרית אמיתית יהיה לנו שיפור של 18% ביחס אות לרעש וזאת בהשוואה למעגל CR-RC. לצורה הכמעט גאומטרית יהיה אפקט קרוב מאד לזה.

2.5.4 עיצוב בעזרת קרוי השהייה (delay line)

על-ידי שימוש בקו השהייה ניתן להפוך פולס מדרגה לפולס מרובע ברוחב  $\Delta t$  השווה לזמן ההשהייה של הקו.

על בסיס זה, בשילוב עם מעגלי RC נוספים ניתן להרכיב צורות רצויות של הפולסים וזאת בהתאם ליישום הדרוש.

נספח 2.6 בעיות ייחודיות לגלאי קרינה

במבט ראשון ניתן לראות גלאי קרינה כמקור לפולסים בתדר, שהוא פונקציה של עוצמת שדה הקרינה, אולם יש לזכור שהתפרקות רדיואקטיבית היא תהליך אקראי מטבעו וניתן לדבר על קצב ממוצע של התפרקות שהוא קבוע בזמן נתון, אך אין אפשרות לקבל קצב התפרקות רגעי קבוע.

היות שיש לנו כאן מקרה של מספר אטומים גדול ביותר, כשלכל אחד מהם הסתברות נמוכה להתפרק, נקבל פילוג פואסון של קצב ההתפרקות לפי הנוסחה:

$$P_m(n) = \frac{m^n}{n!} e^{-m} \quad [7ב]$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} P_m(n) = 1 \quad [8ב]$$

כאשר  $P_m(n)$  היא הסתברות לקבל כמדידה אחת  $n$  ספירות,  $m$  הוא מספר הספירות הממוצע, או הקצב הממוצע.

נהוג לבטא את פיזור התוצאות עקב אופיים הסטטיסטי בעזרת הממוצע של ריבועי הסטיות  $\sigma^2$

$$\sigma^2 = (n - m)^2 \quad [9ב]$$

$$\sigma^2 = \sum_{n=0}^{\infty} P_m(n) (n - m)^2 = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{m^n}{n!} m (n - m)^2 = m \quad [10ב]$$

$$\sigma = \sqrt{m} \quad [11ב]$$

$\sigma$  היא סטיית התקן והיא נותנת את השגיאה המסתברת במספר הספירות, או בקצב הספירות במדידה אחת.

נהוג במקרה של התפרקות גרעיניות להציג את התוצאה בצורה:

$$n \pm \sigma = n \pm \sqrt{n} \quad [12\text{ב}]$$

סטיית התקן היחסית נתונה על-ידי:

$$\frac{\sigma}{n} = \frac{\sqrt{n}}{n} = \frac{1}{\sqrt{n}} \quad [13\text{ב}]$$

ונראה מנוסחה זו כבירור, שככל שיעלה קצב ההתפרקות יגדל דיוק המדידה כאשר  $m$  מספיק

גדול, ולכן גם  $n$  מספיק גדול ניתן להשתמש בקירוב של נוסחת סטירלינג:

$$n! = \sqrt{2\pi n} \cdot n^n e^{-n} \quad [14\text{ב}]$$

על-ידי כך עובר פילוג פואסון לפילוג גאוס, הניתן על-ידי הנוסחה:

$$P(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-(n-m)^2/2\sigma^2} \quad [15\text{ב}]$$

מן האמור לעיל ברור לנו שככל מקרה שאנו מעוניינים לקבל תוצאה בדיוק  $P$ , הרי מספר

הספירות שעלינו לצבור ניתן על-ידי הנוסחה:

למשל אם  $P = 1\%$  אזי

$$P = \frac{\sigma}{N} = \frac{\sqrt{N}}{N} = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad \sqrt{N} = \frac{1}{P} \quad [16\text{ב}]$$

$$N = \frac{1}{P^2} = \frac{1}{(0.01)^2} = 10^4 \quad [17\text{ב}]$$

REFERENCES

סימוני

1. Control Data Co. "AUTRAN 2.0 - Software system for process control", CDC Co., USA.
2. D. M. Auslander, "Practice and Algorithms for Microprocessor Applications", Proc. IEEE, 66, 199 (1978).
3. Baley control company, NETWORK 90 distributed control system, 1980 (Technical data sheet).
4. Honeywell, "Total distribution control system TDC-2000 (Technical data sheet).
5. N. Angreyev, "In Quest of a Common Data Bus", Control Engineering, 24, 50 (1977).
6. John F. McNamara, "Technical Aspects of Data Communication", Digital Press, 1978.
7. P. Bylanski and D.G.W. Ingram, "Digital Transmission Systems", IEEE Press, 1980.
8. S. Clittolin & B. Loeffstedt, "High Speed Serial Link for UAI Microprocessor Network", Topical Conference on the Application of Microprocessors to High Energy Physics Experiments, pp. 573-578, 1981.
9. DEC, INTEL, XEROX, The Ethernet - A Local Area Network Specifications Version 1.0, Sept. 1980 (Technical specification).
10. G. Sideris, "Software Helps Networks Grow with Compability", Electronic Design, p. 39, Sept. 1981.
11. G. Sideris, "Network Architecture Offer Performance Variety", Electronic Design, p. 9, Sept. 1981.
12. Intel. Co., Peripheral Design Handbook, Aug. 1980.
13. IBM, "Synchronous Data Link Control General Information", IBM, CA 27-3093-1.
14. W. J. Price, Nuclear Radiation Detectors, Chap. 4,5,6., 1964, McGraw Hill.
15. R. D. Evans, The Atomic Nucleous, 1955., McGraw Hill.
16. A. S. Tanenbaum, Computer Networks, Prentice Hall, 1981.



17. T. L. Skillman, Jr. E. D. Brooks III et al., "A Microcomputer Based Multiple Detector Data Acquisition System", Nuclear Instruments and Methods, 155, 262 (1978).
18. Dan J. McCormick, Fred L. Glesius et al., "A Microprocessor Based Environmental Radiation Monitoring System", IEEE Transactions on Nuclear Science, NS-23, 710 (1976).
19. "Data System for Automatic Flux Mapping Applications", U.S. Patent Document 4,239,595, 16 Dec. 1980.
20. G. L. Brucker & D. Sarnoff, "Radiation Guidelines - Environments Transients, Total Dose, Neutron Fluence", ST-6662, RCA/Solid State Div. Report, Feb. 1979.