

S.E.E.M

Simulation Environment of Energy Manufacturers

מגישים :

גיא הראל Guy Harel

עידן טאו Idan Tau

מנחה :

אביעד נבון Aviad Navon

סמסטר : חורף תשפ"א

תוכן עניינים

3	רשימת איורים
4	תקציר מנהלים
6	רקע
6	מונחים
7	רקע כללי
7	מדדים לתקינות הרשת בעת הוספת מקור
8	נתונים משמעותיים עבור הוספת מקור חדש
9	עולם הבעיה
9	השלב בתכנון
10	הדרישות מהמערכת
11	הפתרון המוצע
12	מבנה המוצר
12	כלי עבודה בפרויקט
13	הבדיקות אותן המערכת מסוגלת לבצע
13	סך הזמן לייצור במקדם הספק מינימלי עבור הספק ממשי נתון
14	מציאת הספק מקסימאלי בהינתן מקדם הספק ממשי רצוי
15	מקדם הספק מינימאלי לכל הספק נבדק
15	הרצת המערכת על רשת דוגמה ובדיקת נכונות הפתרון
16	בדיקת מקדם הספק מינימלי עבור הספק ממשי נתון
18	בדיקת הספק מקסימאלי בהינתן מקדם הספק ממשי רצוי
19	בדיקת מקדם הספק מינימלי עבור טווח של הספקים ממשיים
22	הוראות הפעלה
22	דרישות מערכת
23	שלבי ההרצה
23	מילוי של אקסל הנתונים
30	הרצת הקוד
30	הפלט המתקבל
32	תקלות נפוצות
35	פערים טכניים
35	רעיונות לפרויקטי המשך
35	הוספת מדדים ופלט נוספים
35	התאמת המערכת למקורות אנרגיה מתחדשים
35	תודות
36	ביבליוגרפיה
36	נספחים

רשימת איורים

9	איור 1 - שלבי הוספת מקור חדש
11	איור 2 - סקיצת ריבועים של המערכת
12	איור 3 - סקיצת ריבועים של המערכת
13	איור 4 - מבנה פונקציית מציאת מקדם הספק מינימלי בהינתן הספק ממשי רצוי
13	איור 5 - פלט לדוגמה עבור מציאת מקדם הספק מינימלי עבור הספק קבוע
14	איור 6 - מבנה פונקציית מציאת הספק מרבי בהינתן מקדם הספק רצוי
14	איור 7 - פלט לדוגמה עבור מציאת מקדם ההספק המקסימלי בטווח עבור מקדם הספק קבוע
15	איור 8 - מבנה פונקציית מציאת מקדם הספק מינימלי לכל הספק ממשי בטווח
15	איור 9 - פלט לדוגמה עבור מציאת מקדם ההספק המינימלי עבור כל הספק בטווח
16	איור 10 - מבנה רשת הדוגמה
17	איור 11 - הרצת בדיקה בפס הצבירה הנבדק והסיבה למקדם הספק מינימלי
17	איור 12 - תוצאות הבדיקה הידנית של הוספת גנרטור עם מקדמי הספק שונים בפס הצבירה הנבדק
18	איור 13 - הרצת בדיקה בפס 10200 והסיבה להספק מקסימלי
19	איור 14 - בדיקה ידנית של הוספת גנרטור עם מקדמי הספק שונים בפס הצבירה הנבדק
20	איור 15 - תוצאות הרצה עבור הספקים שונים לצורך בדיקת תפקוד בדיקת PF מינימלי לטווח הספקים
21	איור 16 - תוצאות בדיקת PF מינימלי עבור טווח הספקים (בדיקה 3) לשם השוואה
24	איור 17 - שדות בחירת הבדיקה ונתונים נלווים
24	איור 18 - דוגמה לניסיון הרצה לא תקין
25	איור 19 - שדות ניתוב התיקיות ובחירת הפלט
26	איור 20 - שדה בחירת פסי הצבירה לבדיקה
26	איור 21 - שדה בחירת פסים לבדיקה, בחירה של חלק מהפסים
27	איור 22 - שדה בחירת הגנרטורים הפעילים בזמן הבדיקה
27	איור 23 - שדה הגנרטורים הדלוקים לבדיקה, בחירה של חלק מהגנרטורים
28	איור 24 - שדה בחירת הגנרטור לבדיקה
28	איור 25 - שדה עקומת העומס לבדיקה
29	איור 26 - שדה עקומת העומס לבדיקה - דוגמה להזנה לא תקינה
29	איור 27 - שדה בחירת מקדם ההספק לעומסים
29	איור 28 - שדה ביטול בדיקת זרמי קצר
30	איור 29 - תוצאות הרצה לדוגמה עבור PF קבוע (בדיקה 2) במשך שנה שלמה
31	איור 30 - תוצאות הרצה לדוגמה עבור P קבוע (בדיקה 1) במשך שנה שלמה
32	איור 28 - אי זיהוי פייתון ע"י מערכת ההפעלה
32	איור 32 - הוספת ניתוב הפייתון לשורת ההרצה
32	איור 33 - שגיאה בזיהוי חבילת פייתון
32	איור 34 - שגיאה והחזרת חריגה - EXCEPTION
33	איור 35 - שגיאה במחיקת קובץ TMP
33	איור 36 - שגיאת אי תאימות גרסאות

תקציר מנהלים

בעקבות תיקון 16 לחוק משק החשמל, אשר אושר ב-18.07.2018, החל תהליך הפרטה של חלקים גדולים במערכת ייצור החשמל בארץ. יעד התהליך הוא לאפשר הפרטה של מערכות ייצור החשמל ואפשר הקמת תחנות ייצור פרטיות, עם דגש על מקורות אנרגיה מתחדשים, זאת במטרה לעמוד ביעד משרד האנרגיה – 30% אנרגיה מתחדשת מכלל האנרגיה הנצרכת בישראל, עד 2030.

הפרטה זאת העמידה בפני חברת החשמל, בעבר, וחברת ניהול המערכת (חנ"מ), בהווה, אתגרים חדשים עימם לא התמודדה מעולם:

- חיבור רשת החשמל למקורות אנרגיה אשר מאפייניהם, הן הגיאוגרפיים והן הטכניים, תוכננו על ידי גורמים חיצוניים.
 - שינוי בכיוון זרימת האנרגיה ברשת, כך שבמקום שזרימת האנרגיה הינה רק ממקורות האנרגיה של חברת החשמל, אל לקוחות הקצה, קיימת אנרגיה שמגיעה גם מכיוון לקוחות הקצה.
 - גידול מהיר במספר יחידות הייצור אשר מתווספות לרשת.
- כחלק מהליך התכנון, קיים צורך בהרצה של כמות גדולה מאוד של סימולציות, תוך השוואה של התוצאות ובחינתם לאור מדדי איכות שנקבעו בחברת החשמל. נכון לזמן כתיבת מילים אלו, אין בנמצא בחנ"מ כלי אשר מאפשר לבצע את הסימולציות האלו ביעילות.
- מטרת הפרויקט היא ליצור כלי אשר יאפשר למתכננים בחברת החשמל להריץ את הסימולציות הדרושות לשם תכנון המערכת לקראת כניסתם לשוק של יצרני חשמל פרטיים ולהציג את התוצאות בצורה שתאפשר הסקת מסקנות מהירה ואיכותית.

Executive Summary

Due to Amendment 16 for the Electricity Market Law, which was confirmed at 18.07.2018, a privatization process of vast portions of the electricity manufacturing has been debuted. The Goal of the process is enabling the privatization of the power generating systems and allowing the construction of new, private, power generating systems, all as part of the power ministry's greater goal – 30% of renewable energy consumption in Israel up until 2030.

This privatization process made the Israeli Electricity Company (IEC), in the past, and the Electrical System Management Company (SMC), in the present, face new challenge:

- Connecting the electricity network to energy sources which theirs' features, such as geographic location and technical features, were designed by outside parties.
- Change in the direction of power flow, so instead of flowing only from power sources of the IEC to the consumers, some energy flows from the consumers side to the network.
- Rapid growth in amount of power sources.

As part of the planning process, there is a need in running multiple simulations, while comparing and checking the results considering quality criterions, which was determined by the IEC. For the time of writing these words, a tool which allows the running of the above-mentioned simulations efficiently, does not exist within reach of the SMC.

The purpose of this project is to create a tool which will allow the electrical system planners to run the simulations which are needed for the entrance of the private energy manufacturers to the market and showing the results in manner which will allow fast and efficient deducing of conclusions.

רקע

מונחים

להלן מספר מונחים מרכזיים בהם יש שימוש בפרויקט:

1. **רשת ההולכה** – רשת החשמל הכוללת את קווי המתח העליון והמתח העל-עליון, ובנוסף את תחנות המיתוג (בין עליון לעל עליון). רשת זו אחראית על העברת הספק ממקורות הייצור המרכזיים למרכזי הצריכה. מכונה גם רשת המסירה.
2. **רשת החלוקה** – חלק הרשת אשר מתחבר לצרכנים. כולל את קווי המתח הגבוה, המתח הנמוך ואת שנאי החלוקה ביניהם.
3. **תחנת השנאה / תחנת משנה**: משמשת לחיבור ומעבר בין מתחים בתוך רשת ההולכה, ומרשת ההולכה לרשת החלוקה.
4. **פאנל סולארי**: מכונה גם פאנל פוטו-וולטאי, טכנולוגיה המייצרת אנרגיה (חשמל) מאור שמש.
5. **ייצור PV**: ייצור אנרגיה באמצעות פאנלים סולאריים.
6. **מקדם ההספק**: היחס בין ייצור הספק ממשי (אקטיבי) לייצור ההספק הכולל, נע בטווח שבין 0 ל-1. ככל שהמקדם גבוה יותר, אחוז ההספק הממשי מתוך ההספק הכולל גדול יותר.
7. **זרימת הספק שעתיית (HPF)**: בדיקת זרימת ההספק ברשת עבור צריכת הספק ספציפית, לרוב מייצג שעה אחת מתוך 8760 השעות שיש בשנה.
8. **וקטור העומסים**: וקטור מנורמל בין 0 ל-1 הכולל את החלק היחסי של העומס מתוך העומס המלא, באופן שמייצג את הצריכה לאורך תקופת זמן, כאשר כל איבר בוקטור מייצג שעה אחת.
9. **שעתי-שנתי**: ביצוע HPF עבור כלל השעות שיש בשנה, תוך העזרות בנתוני עבר על הצריכה והערכת הצריכה הצפויה.
10. **תוכנת הסימולציה PSS®E**: תוכנה סימולציה של חברת Siemens למידול של מערכות חשמל.
11. **שפת Python**: שפת תכנות מתרגמת (אשר ניתן להריצה ישירות מהקוד אותו כותבים), עלית (הקרובה יותר לשפת אדם מאשר לשפת מכונה) המאפשרת תכנות מונחה עצמים עם סמנטיקה דינאמית (הקוד, אשר נכתב בצורה פשטנית, מומר לקוד סבוך יותר על ידי המהדר).

רקע כללי

בשנים האחרונות משק החשמל עובר תהליך משמעותי שבו מרשת בה ייצור האנרגיה מרוכז במעט מקומות שמנוהלים כולם ע"י חברת החשמל, כך שהאנרגיה זורמת בכיוון אחד בלבד ברשת, הרשת הופכת לרב כיוונית בעקבות כניסתם לשוק של יצרני אנרגיה נוספים. אם בעבר היו מספר קטן של תחנות גדולות שכולן היו מחוברות לרשת ההולכה בצורה הפשוטה יחסית לניהול, כיום, עם גדילת שוק הפאנלים הסולאריים וכניסת יצרנים פרטיים לשוק האנרגיה, נוצר מצב בו ישנם הרבה יצרנים קטנים אשר מחוברים לרשת החלוקה ואינם ניתן לשליטה ע"י גורם מרכזי כפי שהיה עד כה. בנוסף, בשל העובדה כי מדובר בייצור אנרגיה באמצעות פאנלים סולאריים, התלות בשמש מייצרת מקור אנרגיה לא רציף ובעל תנודתיות גדולה בייצור, דבר המקשה עוד יותר על ניהול הרשת בצורה יציבה.

מתוך רצון לעמוד ביעדים של ייצור אנרגיה ממקורות מתחדשים, ישנה דרישה לאפשר בכל זאת לצרכנים קטנים להשתלב במערכת, ולכן נקבעו מספר מדדים בהם על היצרן לעמוד ע"מ לשמור על יציבות ופעילות תקינה של הרשת לאחר תוספת הייצור :

מדדים לתקינות הרשת בעת הוספת מקור

1. שינוי מתח מהמתח הנומינלי (נקוב) Voltage change – nominal

ע"מ לשמור על מתח החשמל המסופק לכלל הצרכנים ברשת, יש לוודא כי המתח שמגיע אליהם יהיה בטווח של לכל היותר 10% מעל או מתחת למתח הנקוב. לדוגמא, עבור מתח ביתי של 230 וולט, יש לדאוג כי לאחר הוספת המקור המתח לא יעלה על 250 וולט ולא ירד מתח ל-210 וולט.

2. שינוי מתח מהמתח היחסי Voltage change – relative

ע"מ למנוע קפיצות מתח גדולות מדי כאשר מחברים ומנתקים את המקור, יש לוודא כי המתח ברשת לא ישתנה ביותר מ-2.5% כלפי מעלה או מטה בין המצב בו המקור מנותק לבין המצב בו הוא פעיל.

3. עומס על הקווים Lines overload

לכל קו מתח ישנה הגבלה של העומס אותו הוא יכול להעביר הנובעת מתכונות הקו כמו הרכב החומרים ואורכו. לכן, יש לוודא כי לאחר הוספת המקור לא עוברים את המגבלה הזו.

4. תרומת זרם קצר SCC

מונח אשר הוגדר ע"י חברת חשמל לצורך שמירה על בטחון הרשת. מדד זה בוחן את היחס שבין תרומת הגנרטורים הנבדקים לזרם הקצר במערכת, לבין תרומת הרשת לזרם הקצר במערכת. פרמטר זה תלוי בגודל יחידת הייצור ומרחקה מתחנת המשנה ממנה היא מוזנת. הנוסחאות לחישוב המדד מתעדכנות בצורה עיתית וכן גם הערך המקסימלי אשר מסמל כי המערכת יציבה. להרחבה ראו [1] בנספחים.

5. יחס זרם קצר SCR

מונח אשר הוגדר ע"י חברת חשמל לצורך שמירה על בטחון הרשת. המדד קובע כי במידה וישנו קצר במערכת, הספק המקור צריך להיות עד 8% מהספק הקצר. להרחבה ראו נספח [1] בנספחים.

נציין כי העמידה של יחידת הייצור בתנאים הנ"ל, תלויה בעיקר בפרמטרים הבאים :

נתונים משמעותיים עבור הוספת מקור חדש

1. מקדם הספק POWER FACTOR

ככל שמקדם ההספק גבוה יותר, כך המקור מייצר יותר הספק ממשי, כאשר לפי הספק זה מתקבל תשלום על הייצור. אולם, ישנן דרישות של המערכת גם להספק מדומה (ריאקטיבי). לכן, לרוב, לא ניתן לייצר הספק ממשי בלבד. בנוסף, מנהל המערכת יכול לדרוש ממקור מסוים לעבוד במקדם הספק נתון ע"מ לסייע בטיפול בבעיות במערכת. מכאן עולה הצורך לבדוק כי המקור מסוגל לעבוד במקדם הספק רצוי.

2. הספק מרבי

בעל המקור מעוניין לייצר כמה שיותר הספק, זאת על מנת להרוויח כמה שיותר, אולם ישנה מגבלה של ההספק שהוא יכול להוסיף לרשת תוך עמידה במדדים שצוינו לעיל. לכן, ישנה חשיבות לדעת את ההספק המרבי שהמקור יכול לייצר תוך עמידה בתנאים הנ"ל.

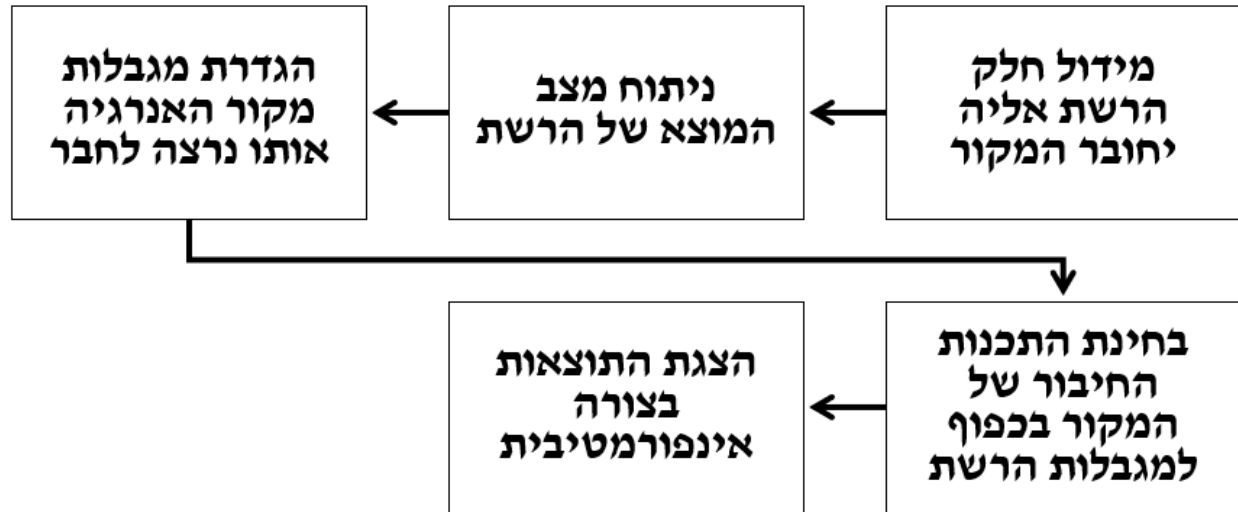
3. פילוח זמני של המדדים לעיל

בנוסף לחישוב המדדים לעיל בנקודת זמן יחידה, קיים הצורך בחישוב המדדים הללו לאורך שנת פעילות אופיינית של רשת החשמל. בעוד שחישוב המדדים לעיל יהיו נוחים עבור חישוב ערכי קיצון, חישוב זה יאפשר לנתח את מגבלות הוספת המקור לאורך שנה אופיינית. באופן זה, יוכלו מתכנני המערכת להגדיר ליצרנים הפרטיים דרישות הנוגעות לתפקוד המערכת, דוגמת – כמות השעות שעל מקור האנרגיה ליצר במקדם הספק מסוים.

עולם הבעיה

השלבים בתכנון

מתוך הבנת הנתונים הנדרשים מהמערכת, והמדדים בהם המקור צריך לעמוד, נבנה את ציר הפעולות הדרושות לבדיקת ההתכנות להוספה של מקור אנרגיה חדש לרשת:



איור 1 - שלבי הוספת מקור חדש

1. מידול חלק הרשת אליה יחובר המקור

לצורך ביצוע הבדיקות, יש צורך למדל את הרשת אליה יחובר המקור החדש בתוכנת סימולציה כלשהי. תוכנת הסימולציה תאפשר לנו בשלבים הבאים לבדוק את התנהגות הרשת בתרחישים שונים. קיימים מודלים שונים של אזורי שונים ברשת, לכן יש לבחור את המודל המתאים מבחינת רמת פירוט. במערכת שלנו אנו עובדים עם תוכנת הסימולציה PSS@E, עימה חברת החשמל עובדת.

2. ניתוח מצב המוצא של הרשת

לצורך בדיקת השינויים במערכת לפני ואחרי חיבור המקור, יש צורך לבדוק את המתח בכל פסי הצבירה במערכת לפני הוספת המקור ולשמור את המידע.

3. הגדרת מגבלות מקור האנרגיה אותו נרצה לחבר

מתכנני המערכת הגדירו מגבלות עבור מקורות אנרגיה חדשים המצטרפים לרשת, זאת על מנת להבטיח את יציבות המערכת ואת איכות החשמל. עוד על אודות מגבלות אלו ניתן לקרוא תחת "מדדים לתקינות הרשת בעת הוספת מקור".

4. בחינת התכנות החיבור של המקור בכפוף למגבלות הרשת

משהוגדרו המגבלות להוספת מקור חדש, יש לנסות את כלל האפשרויות הרלוונטיות עבור הוספת מקור חדש, כפי שהוגדרו על ידי המתכנן, ולבדוק אילו מבניהן עומדת במגבלות הנ"ל. מתוכן נחלץ את האפשרויות אשר עומדות במגבלות שהוצבו.

5. הצגת התוצאות בצורה אינפורמטיבית

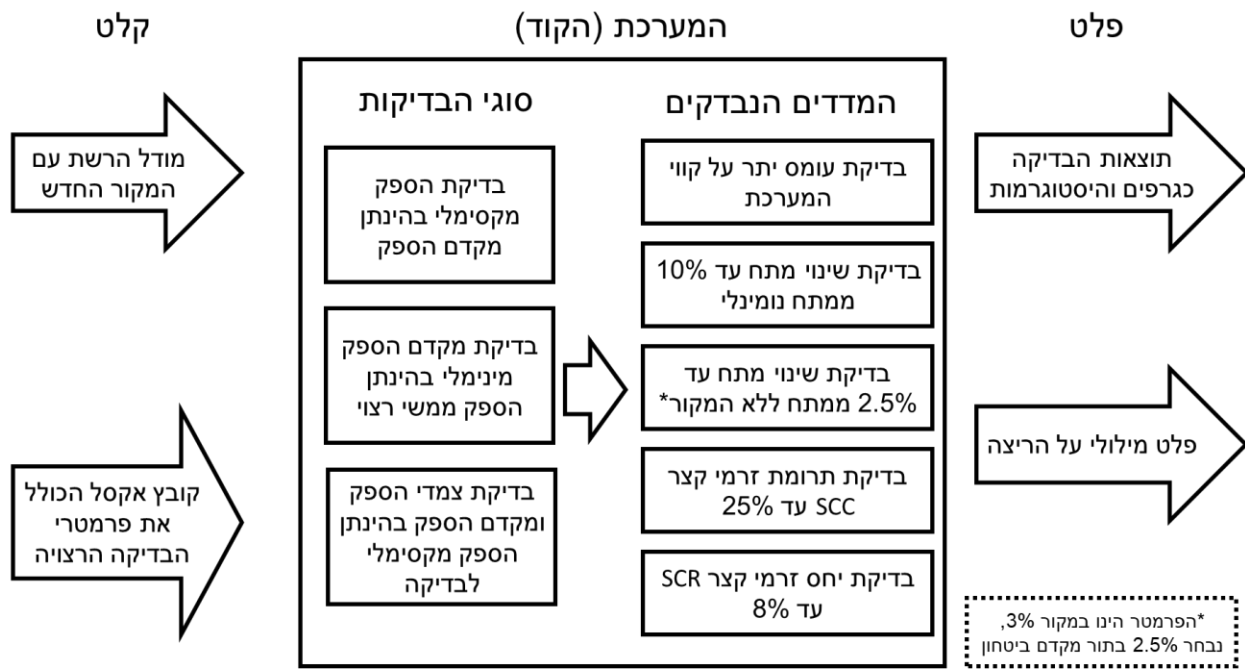
לאחר הרצת הבדיקות, יש צורך להציג את התוצאות בצורה שתהיה נוחה למשתמש לקרוא ולהפיק את המידע שהוא מעוניין בו.

הדרישות מהמערכת

בהתאם למדדים שנקבעו ולנתונים הנדרשים, על המערכת להיות מסוגלת לבדוק את המדדים בצורה אוטומטית, ולספק בצורה נוחה את התוצאות. לצורך הקלת התפעול והרצון להתאים את המערכת גם לאנשים שאינם מתמצאים בשפות קוד, על המערכת לאפשר שימוש באמצעים פשוטים ואינטואיטיביים להכנסת קלט כמו אקסל.

הפתרון המוצע

מתוך רצון לבצע אוטומציה רבה ככל הניתן של הבדיקות הני"ל, נכתבה מערכת אוטומציה בשפת פייתון, אשר מתממשקת עם תוכנת הסימולציה ומסוגלת להריץ חלק נרחב מהבדיקות הרצויות בצורה אוטומטית. להלן סקיצה כללית של המערכת:



איור 2 - סקיצת ריבועים של המערכת

מבנה המוצר

המערכת נעזרת ב-3 תוכנות עיקריות:

כלי עבודה בפרויקט

1. תוכנת PSS®E

כלל החישובים הנוגעים להתנהלות הפיזיקלית-חשמלית של הרשת מבוצעים על ידי תוכנה זאת.

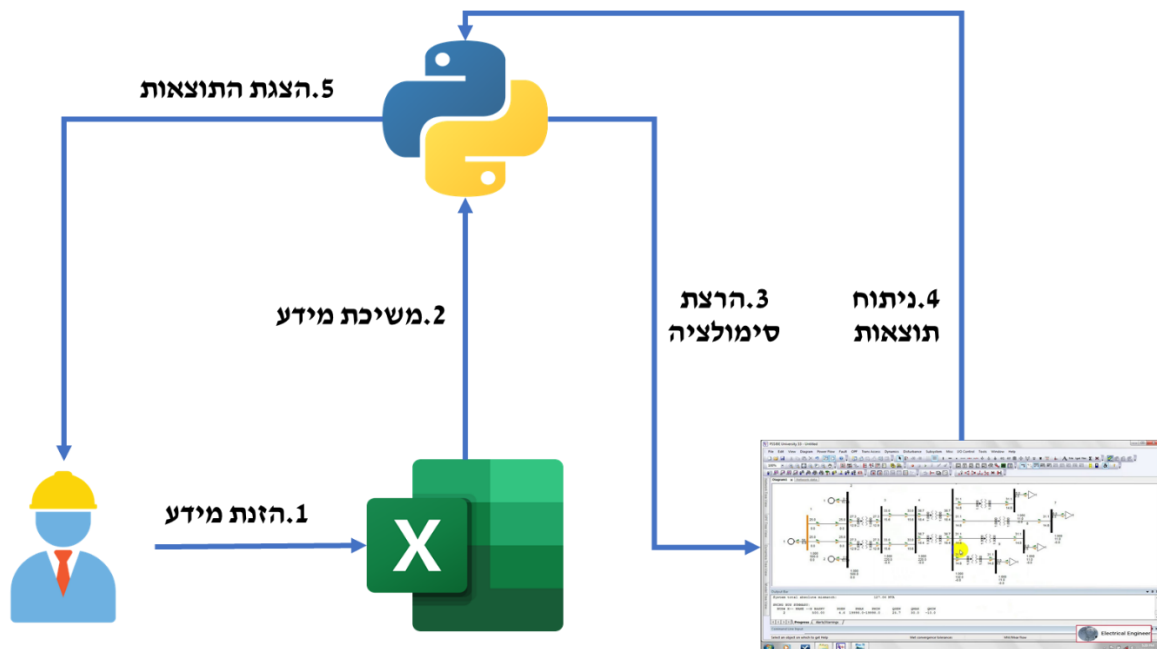
2. קוד Python

לתוכנת ה-PSS®E ישנן ספריות קוד מובנות בשפת Python אשר מאפשרות למדל רשת חשמל ואף להריץ סימולציות מסוגים שונים של מודל רשת החשמל. על כן, כלל הבדיקות שיתוארו להלן נכתבו תוך שימוש ב-Python בכלל ובספריות הקוד הנ"ל בפרט.

3. תוכנת אקסל של מיקרוסופט

כדי להקל את השימוש במערכת, המערכת מושכת את הפרמטרים שלה מקובץ אקסל.

התצורה הכללית של המערכת הינה:

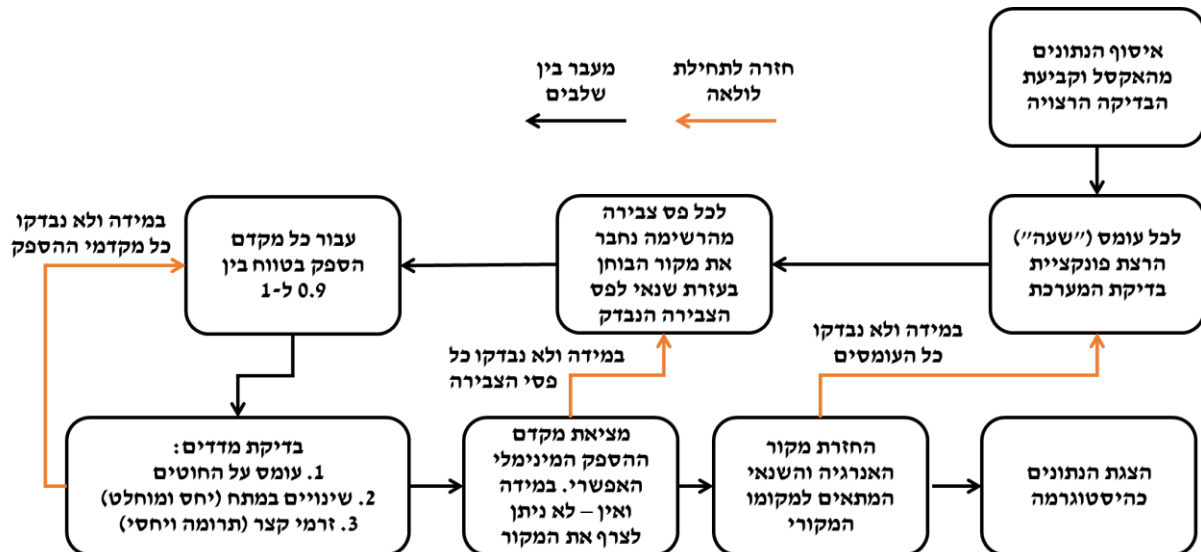


איור 3 - סקיצת ריבועים של המערכת

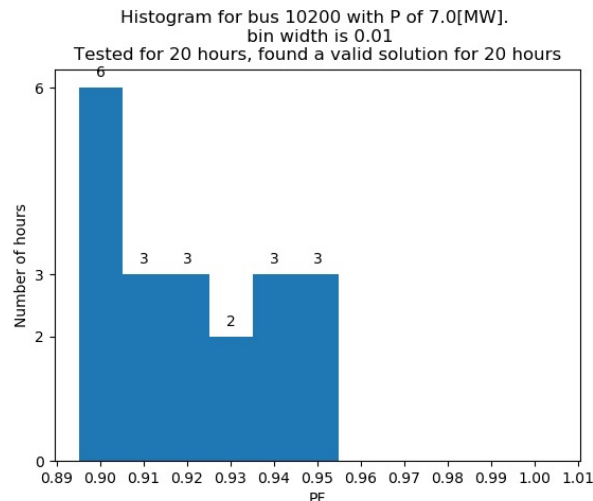
הבדיקות אותן המערכת מסוגלת לבצע

סך הזמן לייצור במקדם הספק מינימלי עבור הספק ממשי נתון המערכת מוצאת את מקדם ההספק המינימלי האפשרי בטווח שבין 0.9 ל-1, טווח מקדמי ההספק בו עובדים בחברת ניהול המערכת, עבור הספק ממשי שנבחר ע"י המשתמש. בדיקה זאת מבוצעת עבור כל איבר בוקטור העומסים (שקול לבדיקה עבור עומס נתון). הבדיקה מבוצעת תוך שמירה על שאר המדדים במערכת מבחינת שאר המקורות והעומסים, וכך נאספים נתונים עבור כמות השעות הנתונה בוקטור העומסים. את התוצאה המערכת מציגה בתור היסטוגרמה הכוללת את כמות השעות בהן ניתן להפעיל את המקור עבור כל מקדם הספק בטווח, בחלוקה לפסי הצבירה הנבדקים.

האלגוריתם פועל בצורה הבאה:

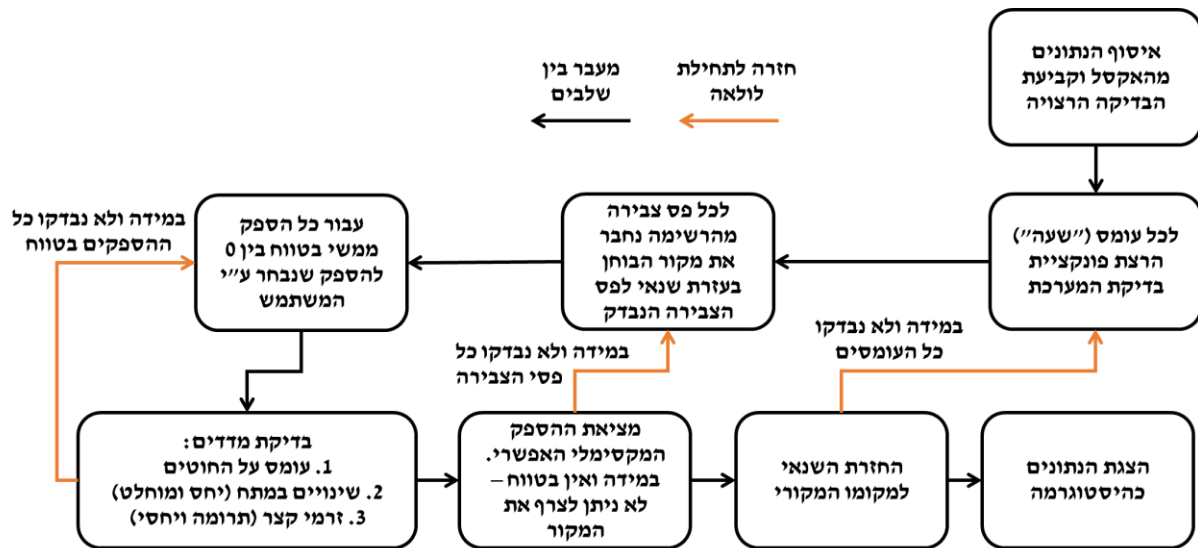


איור 4 - מבנה פונקציית מציאת מקדם הספק מינימלי בהינתן הספק ממשי רצוי

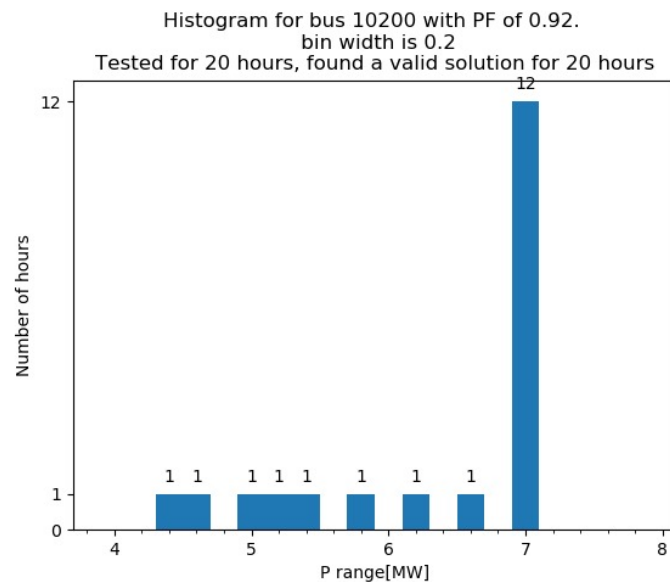


איור 5 - פלט לדוגמה עבור מציאת מקדם הספק מינימלי עבור הספק קבוע

מציאת הספק מקסימאלי בהינתן מקדם הספק ממשי רצוי
המערכת מוצאת את ההספק המרבי האפשרי בטווח שבין 0 להספק שנבחר ע"י המשתמש, בקפיצות של $0.2[MW]$, בהינתן מקדם הספק שנבחר ע"י המשתמש, עבור כל איבר בוקטור העומסים. בדיקה זאת מבוצעת תוך שמירה על שאר המדדים במערכת. את התוצאה המערכת מציגה בתור היסטוגרמה של כמות השעות בהן ניתן להפעיל את המקור בכל רמת הספק.
האלגוריתם פועל בצורה הבאה:



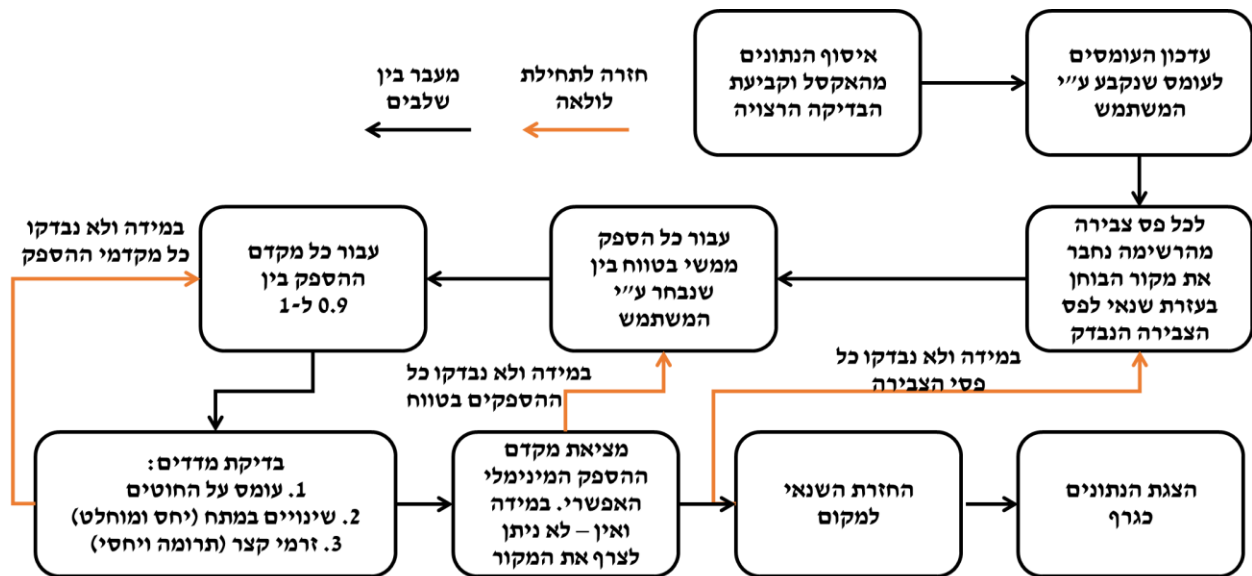
איור 6 - מבנה פונקציית מציאת הספק מרבי בהינתן מקדם הספק רצוי



איור 7 - פלט לדוגמה עבור מציאת מקדם ההספק המקסימלי בטווח עבור מקדם הספק קבוע

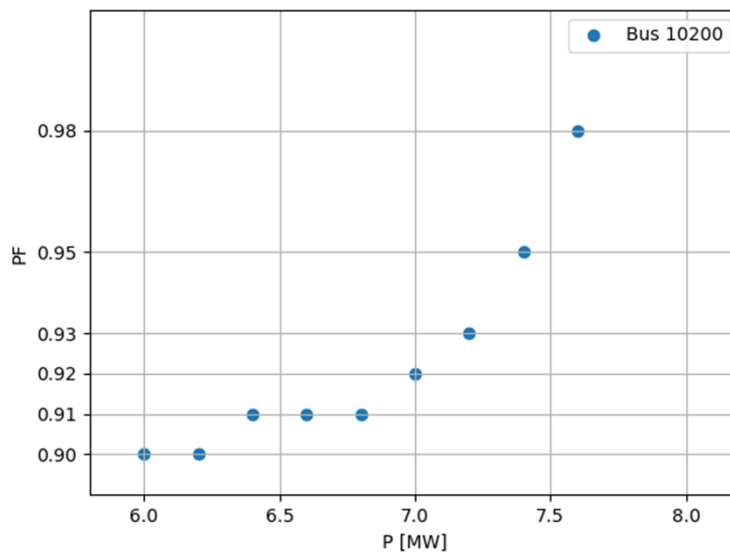
מקדם הספק מינימאלי לכל הספק נבדק

בדיקה זאת משמשת לבחינת הקיבולת של הרשת עבור מקור אנרגיה חדש, אשר נתוניו אינם ידועים במדויק. בבדיקה זו, נבדקים כלל הצירופים של מקדם הספק בטווח בין 0.9 ל-1 עם הספק ממשי בטווח שנבחר ע"י המשתמש, וזאת עבור "שעת עומס" יחידה שנבחרת ע"י המשתמש. את התוצאה המערכת מציגה בתור גרף המראה עבור כל הספק את מקדם ההספק המינימלי המתאים לו. האלגוריתם פועל בצורה הבאה:



איור 8 - מבנה פונקציית מציאת מקדם הספק מינימלי לכל הספק ממשי בטווח

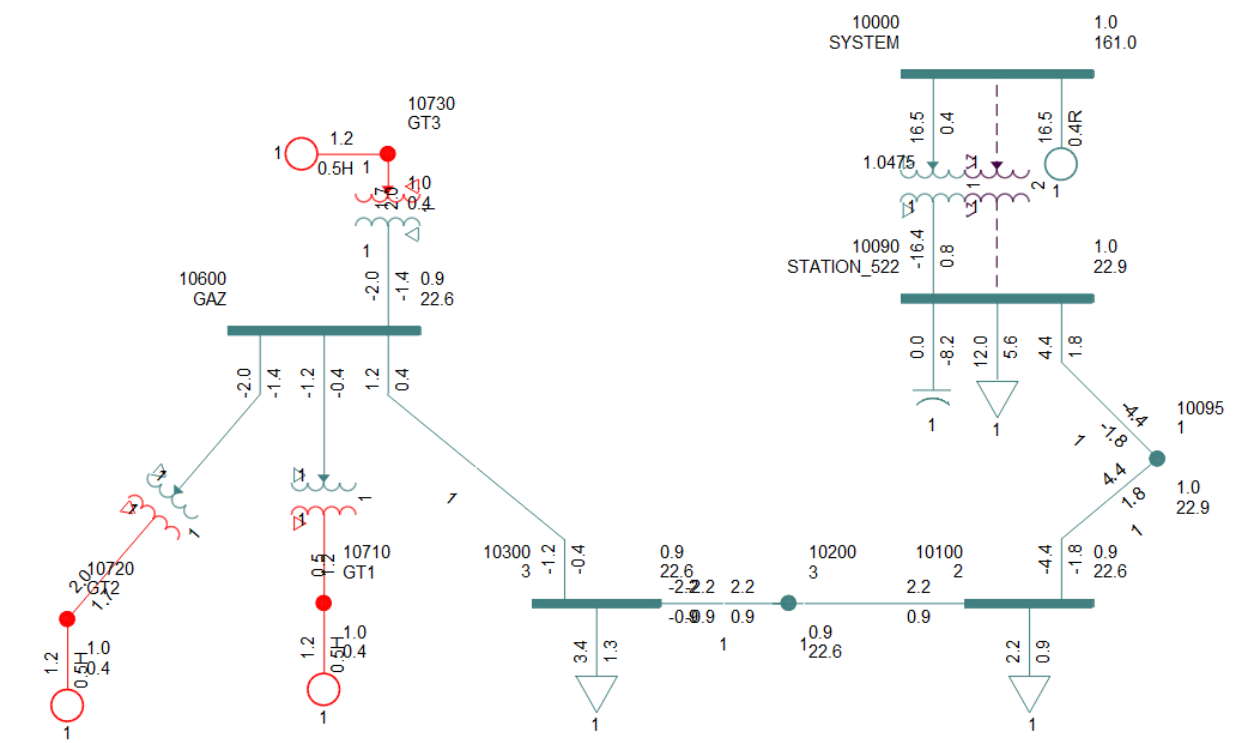
Min PF for given P at bus = 10200



איור 9 - פלט לדוגמה עבור מציאת מקדם ההספק המינימלי עבור כל הספק בטווח

הרצת המערכת על רשת דוגמה ובדיקת נכונות הפתרון

ע"מ לבדוק את תקינות המערכת, בוצעה בדיקה של פעילותה על מודל רשת חלוקה לדוגמה ([5] בנספחים) שהתקבל מחברת חשמל. בוצעה הרצה עבור בדיקת PF מינימלי עבור P קבוע ובדיקת P מקסימלי עבור PF, ולאחר מכן בוצעה השוואה בין התוצאות שהתקבלו במערכת לבין בדיקה ידנית, עם אותם הפרמטרים, שבוצעה דרך ממשק המשתמש של PSS®E ישירות. הבדיקה בוצעה בעזרת הזזה של אחד משלושת הגנרטורים שמחוברים לפס צבירה 10600. עבור הבדיקה המשולבת של PF מינימלי לכל P, בוצעה רק השוואה בין הבדיקה הזו לבדיקת PF מינימלי ל-P קבוע. זאת, מאחר ובדיקה ידנית של כלל הצירופים תקח זמן רב, ובכל מקרה תהיה שקולה להשוואה לבדיקה האוטומטית לאחר שיוכח כי הבדיקה האוטומטית של PF מינימלי ל-P קבוע זהה לידינית.

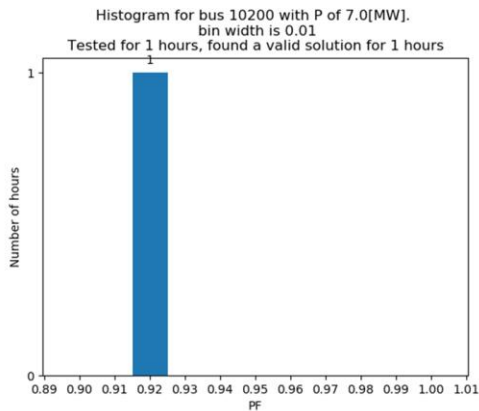


איור 10 - מבנה רשת הדוגמה

בדיקת מקדם הספק מינימלי עבור הספק ממשי נתון

לצורך בדיקת נכונות הפתרון, בחרנו עומס של שעה בודדת, ובדקנו מהו מקדם ההספק המינימלי של הגנרטור הנבדק שהמערכת שלנו מוצאת. לאחר מכן, הערך שנמצא נבדק באופן ידני אל מול הממשק הגרפי של תוכנת הסימולציה (PSS®) ובוצעה בדיקה כי עבור מקדם ההספק שהתקבל, הרשת עומדת בתנאים, בעוד שעבור מקדם ההספק נמוך יותר, אחד מהתנאים מופר.

עבור מערכת הדוגמה שנבחרה, נמצא כי עבור העומס הבסיסי של המודל (ללא הגדלה או הקטנה) והספק גנרטור נבדק של $7[MW]$ (וראו נספח [3]), מקדם ההספק המינימלי עבור חיבור לפס צבירה 10200 הוא 0.92, זאת בשל מגבלת שינוי מקסימלי במתח פסי הצבירה לפני ואחרי הוספת הגנרטור.



```
checking PF and P comb while connected to bus 10200
with P of 7.0 and PF of 0.9

Voltage change in bus 10100 is 2.64%, out of range
Voltage change in bus 10200 is 2.64%, out of range
Voltage change in bus 10300 is 2.65%, out of range
Voltage change in bus 10600 is 2.65%, out of range
Voltage change in bus 10720 is 2.55%, out of range
Voltage change in bus 10730 is 2.55%, out of range
Voltage change more then 2.5%

checking PF and P comb while connected to bus 10200
with P of 7.0 and PF of 0.91

Voltage change in bus 10200 is 2.50%, out of range
Voltage change in bus 10300 is 2.50%, out of range
Voltage change in bus 10600 is 2.50%, out of range
Voltage change more then 2.5%
```

איור 11 - הרצת בדיקה בפס הצבירה הנבדק והסיבה למקדם הספק מינימלי

מהרצה דומה בצורה ידנית דרך ממשק תוכנת הסימולציה התקבלו התוצאות הבאות :

מספר הפס	מתח בפסי הצבירה לפני הדלקה ב-PU	מתח בפסי הצבירה אחרי הדלקה עם מקדם הספק 0.92 ב-PU	פרש השינוי באחוזים	מתח בפסי הצבירה אחרי הדלקה עם מקדם הספק 0.91 ב-PU	פרש השינוי באחוזים
10000	1	1	0	1	0
10090	0.9568	0.9632	-0.6689	0.964	-0.75251
10095	0.9563	0.9635	-0.7529	0.9644	-0.84701
10100	0.9469	0.9692	-2.35505	0.9706	-2.5029
10200	0.9469	0.9692	-2.35505	0.9706	-2.5029
10300	0.9466	0.969	-2.36636	0.9704	-2.51426
10600	0.9467	0.969	-2.35555	0.9704	-2.50343
10710	0.9469	1.0432	-10.17	1.0517	-11.0677
10720	0.9654	0.9874	-2.27885	0.9887	-2.41351
10730	0.9654	0.9874	-2.27885	0.9887	-2.41351

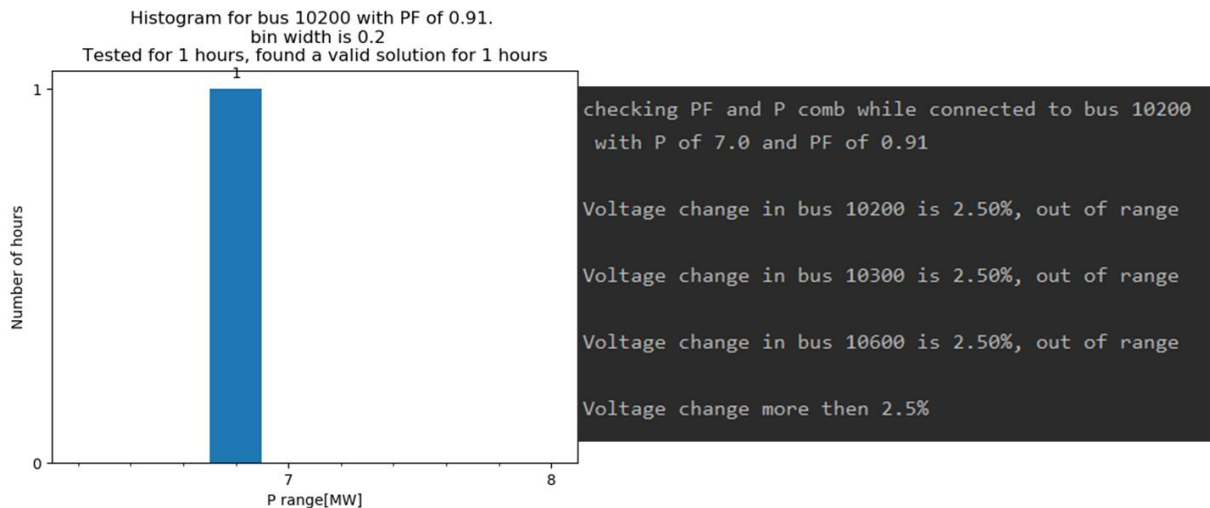
איור 12 – תוצאות הבדיקה הידנית של הוספת גנרטור עם מקדמי הספק שונים בפס הצבירה הנבדק

ניתן לראות כי אכן השינוי בין מתח המקור למתח החדש חורג מהטווח הרצוי של 2.5% במעבר למקדם הספק 0.91, ואילו עבור מקדם הספק 0.92 השינוי תקין. שתי נקודות לציון מהבדיקה :

- מהבדיקה הידנית ניתן לראות כי עבור פס הצבירה של הגנרטור עצמו ישנו שינוי גדול יותר מ-2.5 אחוז, אולם בשל העובדה כי שינוי זה צפוי ולא משפיע על הרשת, המערכת יודעת להתעלם מנתון זה באופן אוטומטי.

- ניתן לראות כי המערכת מצאה רק 3 פסים בהם שינוי המתח גדול מ-2.5, ואילו בטבלה ישנם 4 כאלו. הדבר נובע ככה"נ מההבדל בין הכנסת הנתונים הידנית שגורמת לעיגול מסוים בנתונים, ואילו המערכת האוטומטית מבצעת את החישובים ללא העיגולים אך עם קירובים נומריים, ולכן התוצאות המתקבלות שונות במעט, אולם ללא הבדל משמעותי בתוצאה הסופית.

בדיקת הספק מקסימאלי בהינתן מקדם הספק ממשי רצוי לצורך בדיקת נכונות הפתרון, נבחר עומס של שעה בודדת ונבדק מהו ההספק המרבי שהמערכת מוצאת עבור מקדם ההספק הנתון, בו יכול לעבוד גנרטור הבדיקה ללא פגיעה במדדים שנבחרו. לאחר מכן, הערך שנמצא נבדק באופן ידני בממשק הגרפי של תוכנת הסימולציה ובוצעה בדיקה כי עבור הספק זה אכן המערכת עומדת בתנאים, בעוד עבור הספק גבוה יותר אחד מהתנאים מופר. עבור מערכת הדוגמה שנבחרה, נמצא כי עבור מקדם הספק של 0.91 והעומס הבסיסי של המודל, ההספק המקסימלי האפשרי הוא של $6.9 [MW]$ (וראו נספח 4) עבור חיבור לפס צבירה 10200, זאת בשל מגבלת שינוי מקסימלי במתח פסי הצבירה לפני ואחרי הוספת הגנרטור.



איור 13 - הרצת בדיקה בפס 10200 והסיבה להספק מקסימלי

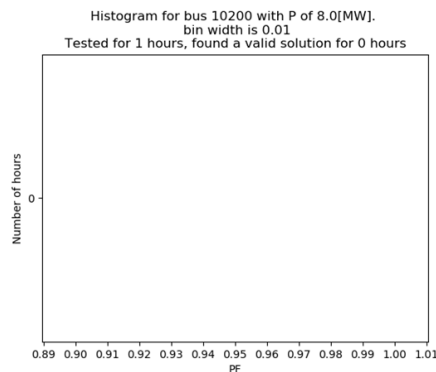
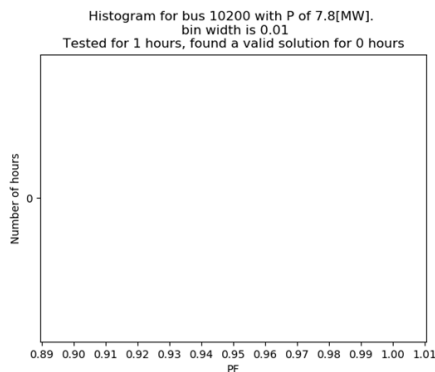
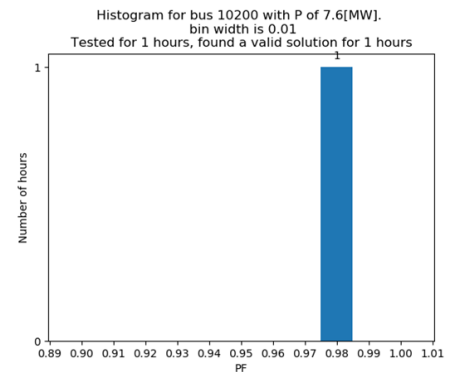
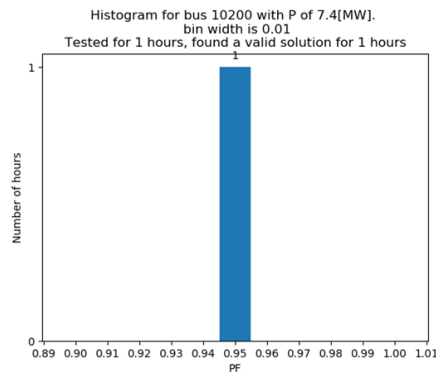
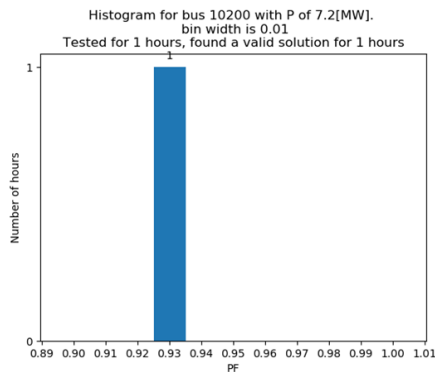
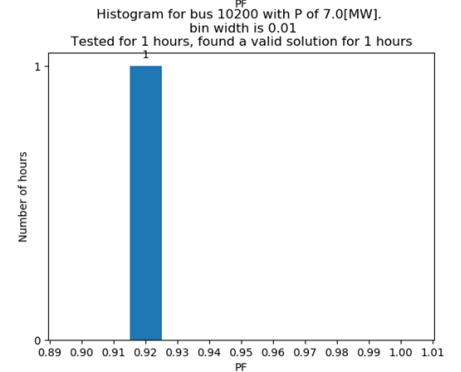
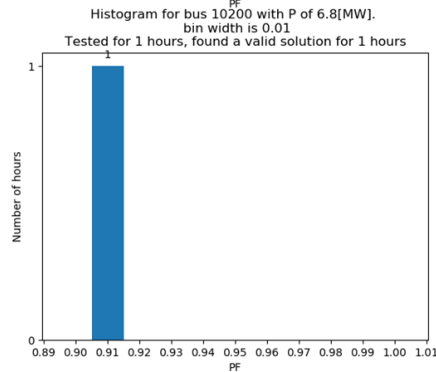
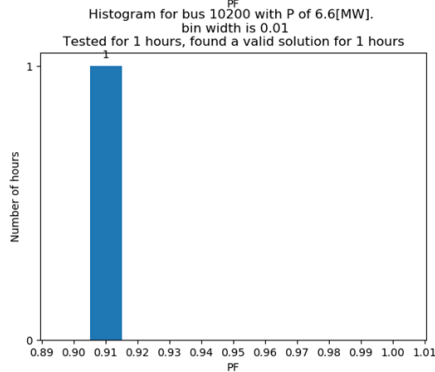
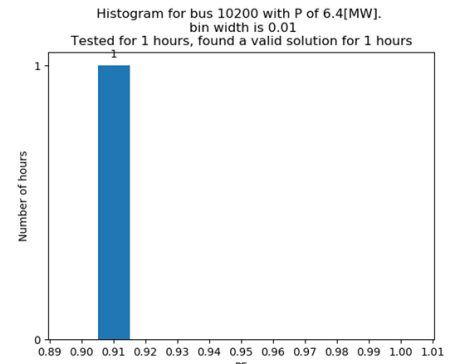
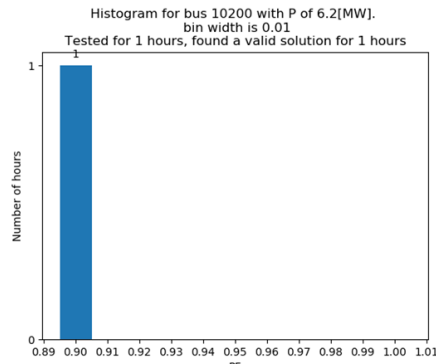
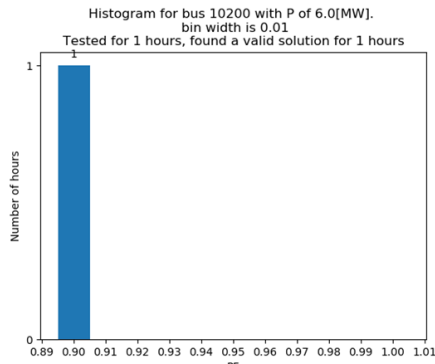
מהרצה דומה בצורה ידנית דרך ממשק התוכנה התקבלו התוצאות הבאות :

מספר פסים	לפני הדלקה	אחרי הדלקה עם הספק ממשי 6.9 מגה וואט	הפרש השינוי באחוזים	אחרי הדלקה עם הספק ממשי של 7 מגה וואט	הפרש השינוי באחוזים
10000	1	1	0	1	0
10090	0.9568	0.964	-0.75251	0.964	-0.75251
10095	0.9563	0.9644	-0.84701	0.9644	-0.84701
10100	0.9469	0.9704	-2.48178	0.9706	-2.5029
10200	0.9469	0.9705	-2.49234	0.9706	-2.5029
10300	0.9466	0.9702	-2.49313	0.9704	-2.51426
10600	0.9467	0.9703	-2.49287	0.9704	-2.50343
10710	0.9469	1.0509	-10.9832	1.0517	-11.0677
10720	0.9654	0.9886	-2.40315	0.9887	-2.41351
10730	0.9654	0.9886	-2.40315	0.9887	-2.41351

איור 14 – בדיקה ידנית של הוספת גנרטור עם מקדמי הספק שונים בפס הצבירה הנבדק

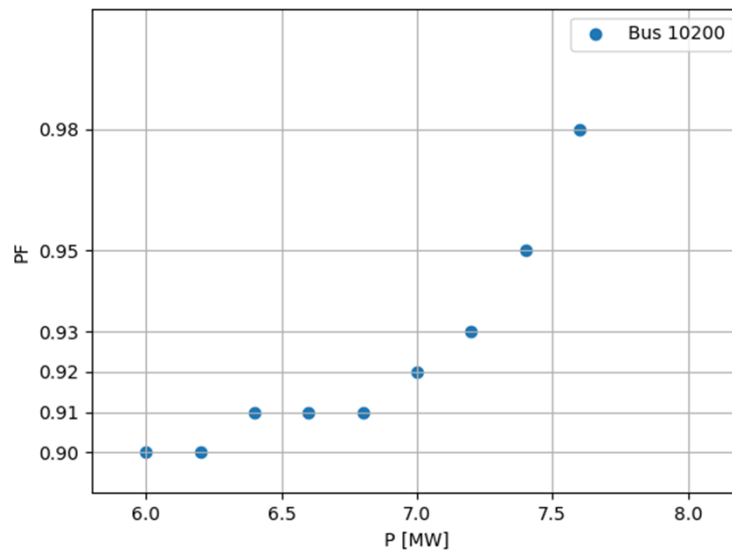
ניתן לראות כי אכן הפרש השינוי בין מתח המקור למתח החדש חורג מהטווח הרצוי של 2.5% רק במעבר מהספק של $6.9[MW]$ להספק של $7[MW]$, כאשר עבור הספק של $6.9[MW]$ הפרש השינוי תקין. ניתן לראות כי ההערות שניתנו בבדיקה הקודמות תקפות גם כאן (שינוי בפס הגנרטור הנבדק, שגיאות קירוב ידני ונומרי). נשים לב שגודל הקפיצות במערכת הינו $0.2[MW]$, זאת בתיאום עם גורמי מקצוע מחנ"מ. עובדה זאת הובילה לפער בין התוצאות שהתקבלו עבור בדיקת המערכת האוטומטית (עבורה התקבל הספק מקסימלי של $6.8[MW]$) והתוצאות שהתקבלו עבור הבדיקה הידנית (עבורה התקבל הספק מקסימלי של $6.9[MW]$).

בדיקת מקדם הספק מינימלי עבור טווח של הספקים ממשיים מכיוון שבדיקה זו מבצעת בדיקה הזזה לבדיקה של PF מינימלי עבור P קבוע, אולם במקום בטווח של מספר שעות עומס, על טווח של הספקים, מספיק לבדוק כי בדיקה זאת מספקת תוצאות זהות לבדיקה של PF מינימלי עבור P קבוע על מנת לאשש את נכונות הבדיקה. מהרצה של המערכת על טווח הספקים שבין 6 ל-8 מגה וואט עבור עומס בודד ופס נבדק בודד, ניתן לראות כי אכן יש תאימות בין שתי הבדיקות, משמע הבדיקה תקינה.



איור 15 - תוצאות הרצה עבור הספקים שונים לצורך בדיקת תפקוד בדיקת PF מינימלי לטווח הספקים

Min PF for given P at bus = 10200



איור 16 – תוצאות בדיקת PF מינימלי עבור טווח הספקים (בדיקה 3) לשם השוואה

הוראות הפעלה

המערכת מיועדת לשימוש בעיקר ע"י גורמי המקצוע בחברת ניהול המערכת, ולכן היה צורך להנגיש את המערכת ולייצר הוראות הפעלה. פרק זה מתחלק למספר חלקים :

- דרישות המערכת
- שלבי הרצה
- תקלות נפוצות

דרישות מערכת

דרישות המערכת מגדירות את תנאי הסף התוכנתיים להרצת המערכת. נציין כי תנאי סף אלו נובעים מסביבת העבודה בה פותחה המערכת, אך לא מן הנמנע כי המערכת תעבוד גם בסביבות דומות.

גרסה	מערכת
34	PSS®E
Windows	מערכת הפעלה
Excel 2010 and above	Excel
2.7	Python
Psspy 27	ספריות Python הדורשות התקנה נוספת
Numpy	
Matplotlib	
Openpyxl	

שילבי ההרצה

מילוי של אקסל הנתונים

השלב הראשוני בהרצת המערכת הוא מילוי הנתונים הרצויים באקסל הקלט. ע"מ להקל על המשתמש, האקסל מגביל את הקלט האפשרי בכל משבצת לקלט מתאים (טווח מספרים, תשובות כן/לא). כמו כן ישנו מפתח צבעים לנוחות המשתמש:

- תאים הצבועים בשחור הינם תאים שאינם מיועדים למילוי עבור הבחירות שנעשו
- תאים הצבועים בירוק הינם תאים שמיועדים למילוי
- תאים המסומנים באדום מסמנים כי הקלט אינו תקין.

להלן השלבים השונים במילוי האקסל:

1. בחירת הריצה הרצויה והנתונים:

בחלק הראשון, נבחר את סוג הבדיקה אותה אנו רוצים לבצע. על מנת לבחור בדיקה כלשהי, נכתוב "כן" במשבצת התכלת המצויה תחת שם הבדיקה. נוודא ששאר הבדיקות מסומנות ב"לא". בנוסף, לכל בדיקה ישנם פרמטרים שונים הנדרשים לביצועה. על כן, על המשתמש לבחור את הנתונים המתאימים עבורה. בסך הכל נוודא למלא את הפרמטרים הבאים:

- "כן" עבור סוג הבדיקה הרצויה.
 - נקפיד למלא "לא" בשאר הבדיקות
 - נמלא את הפרטים הנדרשים במשבצות הירוקות
 - נוודא כי במשבצת "שגיאה בבחירת בדיקה" כתוב כי "הכל תקין"
- לדוגמא, עבור ריצה הבדקת הספק ממשי מקסימלי עבור מקדם הספק נתון, יש לבחור את מקדם ההספק וההספק המקסימלי עבורו יש לבדוק.

איזו בדיקה לבצע? ניתן לבחור בדיקה אחת בלבד, יש לכתוב כן או לא		
שגיאה בבחירת בדיקה	במידה ונבחר כן, עבור איזה P יש לבדוק?	בדיקת כמות השעות בשנה בכל P עבור P קבוע
הכל תקין	7	כן
במידה ונבחר כן, מהו ה-P המקסימלי לבדוק עבורו?	במידה ונבחר כן, עבור איזה PF יש לבדוק?	בדיקת כמות השעות בשנה בכל P עבור PF קבוע
		לא
במידה ונבחר כן, מהו ה-P המינימלי לבדוק עבורו?	במידה ונבחר כן, מהו ה-P המקסימלי לבדוק עבורו?	לכל פס ברשימה, למצוא לכל P מהו ה-PF המינימלי
		לא
	במידה ונבחר כן, פי כמה גדול העומס לעומת העומס הקיים בקובץ?	

איור 17 - שדות בחירת הבדיקה ונתונים נלווים

איזו בדיקה לבצע? ניתן לבחור בדיקה אחת בלבד, יש לכתוב כן או לא		
שגיאה בבחירת בדיקה	במידה ונבחר כן, עבור איזה P יש לבדוק?	בדיקת כמות השעות בשנה בכל P עבור P קבוע
שגיאה בהזנת הנתונים	8	כן
במידה ונבחר כן, מהו ה-P המקסימלי לבדוק עבורו?	במידה ונבחר כן, עבור איזה PF יש לבדוק?	בדיקת כמות השעות בשנה בכל P עבור PF קבוע
		לא
במידה ונבחר כן, מהו ה-P המינימלי לבדוק עבורו?	במידה ונבחר כן, מהו ה-P המקסימלי לבדוק עבורו?	לכל פס ברשימה, למצוא לכל P מהו ה-PF המינימלי
7	8	כן
הוזנו ערכי קצוות תקינים	במידה ונבחר כן, פי כמה גדול העומס לעומת העומס הקיים בקובץ?	
	1	

איור 18 - דוגמה לניסיון הרצה לא תקין

2. בחירת תיקיות הקלט והיעד, בחירת הדפסת פלט נלווה:

ע"מ שהמערכת תדע היכן לשמור את הפלט ומהיכן לשאוב את נתוני המודל, יש לעדכן באקסל את היררכיית התיקיות המתאימה לקלט ולפלט. בנוסף. ניתן לסמן האם מעוניינים בפלט נוסף של המערכת (שגיאות, התקדמות), באופן שיספק יותר מידע אך יאט את פעילות המערכת. בסך הכל נוודא למלא את הפרמטרים הבאים:

- שם קובץ ה-SAV עליו נרצה להריץ את הבדיקה.
 - נכתוב את השם ללא סיומת ה-SAV
 - הניתוב המלא של התיקייה בה נמצא קובץ ה-SAV הנבחר
 - נוודא שאכן הקובץ מצוי שם
 - הניתוב המלא של תיקיית הפלט
 - במידה והתיקייה לא קיימת, הקוד ייצור אותה
 - במידה ונרצה פלט מפורט, נכתוב "כן" במשבצת הכחולה תחת "בחירת הדפסת פלט רקע"
 - במידה ונרצה לקבל אך ורק את הגרפים, נכתוב "לא"
- דוגמה לאופן מילוי חלק זה:

הכנס למטה את שם ה-SAV וההיררכיה שלו:	
Israeli_network	שם ה-SAV:
C:\Users\user\Desktop\PSSE project\psspy_exersice	ניתוב הקובץ:
C:\Users\user\Desktop\PSSE project\output	ניתוב התוצאות
יש לוודא כי הניתובים מכילים אותיות וסימנים באנגלית בלבד!	
בחירת הדפסת פלט רקע	
לא	האם להדפיס את כלל הפלט של המערכת (שגיאות, התקדמות)?

איור 19 – שדות ניתוב התיקיות ובחירת הפלט

3. בחירת פסי הצבירה שייבדקו:

- ע"מ לצמצם את הבדיקות המיותרות, המשתמש יכול לבחור כי חיבור מקור הבוחן יבוצע רק בפסי צבירה נבחרים ולא בכלל הפסים במערכת. יודגש כי צמצום זה לא פוגע בבדיקת המדדים, ואלו נבדקים עבור כלל פסי הצבירה ולא רק עבור אלו שנבחרו. מכאן עולה כי ישנן שתי אפשרויות למילוי חלק זה:
- "כולם" – הגנרטור הנבדק יחובר לכלל פסי הצבירה במערכת, למעט פסי צבירה אליהם מחובר כבר גנרטור אחר
 - "חלק" – הגנרטור יחובר אך ורק לפסי הצבירה המופיעים במשבצות הירוקות, בהינתן כי לפסי צבירה אלו לא מחובר גנרטור נוסף ישירות (דרך שנאי)

בחירת פסים ספציפים לבדיקה		
מספר הפסים שהוכנסו:	במידה ורק חלק מהפסים, יש לכתוב מתחת את מספרי הפסים בהם יש לבדוק את הגנרטור	האם לבדוק בכל הפסים או רק בחלק? יש לבחור כולם או חלק
0		כולם

איור 20 - שדה בחירת פסי הצבירה לבדיקה

בחירת פסים ספציפים לבדיקה		
מספר הפסים שהוכנסו:	במידה ורק חלק מהפסים, יש לכתוב מתחת את מספרי הפסים בהם יש לבדוק את הגנרטור	האם לבדוק בכל הפסים או רק בחלק? יש לבחור כולם או חלק
1	10200	חלק

איור 21 - שדה בחירת פסים לבדיקה, בחירה של חלק מהפסים

4. בחירת הגנרטורים הפעילים בזמן הבדיקה:

המשתמש יכול לבחור אילו גנרטורים יהיו פעילים בעת ביצוע הבדיקה. קיימות שתי אפשרויות עיקריות להרצה:

- "כולם" – כלל הגנרטורים יהיו דלוקים בעת הבדיקה
- "חלק" – רק הגנרטורים אשר יופיעו במשבצות הירוקות יהיו דלוקים נשים לב כי:
- גנרטור ה-swing תמיד יהיה דלוק
- יש להקפיד שהגנרטור הנבדק (הסבר בנושא מצוי בסעיף הבא) יהיה ברשימה

בחירת גנרטורים פעילים בזמן הבדיקה			
מספר הגנרטורים שהוכנסו:	במידה ונבחר חלק, יש לרשום בעמודה זו את ה-ID של הגנרטורים אותם יש להפעיל בכל פס	במידה ונבחר חלק, יש לרשום בעמודה זו את מספרי הפסים של הגנרטורים	האם כל הגנרטורים יפעלו בזמן הריצה או רק חלקם? יש לבחור כולם או חלק
0			כולם

איור 22 - שדה בחירת הגנרטורים הפעילים בזמן הבדיקה

בחירת גנרטורים פעילים בזמן הבדיקה			
מספר הגנרטורים שהוכנסו:	במידה ונבחר חלק, יש לרשום בעמודה זו את ה-ID של הגנרטורים אותם יש להפעיל בכל פס	במידה ונבחר חלק, יש לרשום בעמודה זו את מספרי הפסים של הגנרטורים	האם כל הגנרטורים יפעלו בזמן הריצה או רק חלקם? יש לבחור כולם או חלק
2	1	10710	חלק
	1	10720	.

איור 23 - שדה הגנרטורים הדלוקים לבדיקה, בחירה של חלק מהגנרטורים

5. בחירת גנרטור לבדיקה:

ע"מ שהמערכת תדע באיזה גנרטור יש להשתמש כמקור הבוחן מבין כלל הגנרטורים הקיימים בקובץ מודל הרשת, יש לציין באקסל הנתונים את פרטי הגנרטור. יצוין כי המערכת מסתמכת על כך שבכל פס צבירה ישנו גנרטור יחיד ולו שנאי יחיד, בדומה לחיבור מקור במציאות. עובדה זאת תקפה גם לגבי גנרטור הבדיקה והשנאי המחובר אליו. נוודא כי הגנרטור הנבחר נמצא ברשימת הגנרטורים הדלוקים (סעיף קודם), כאשר במידה וכלל הגנרטורים דלוקים, כך יהיה גם גנרטור הבדיקה. דוגמה לאופן המילוי של חלק זה:

בחירת גנרטור לבדיקה		
יש לרשום את מספר ה- ID של הגנרטור	יש לרשום את מספר הפס של הגנרטור	
1	71	פרטי הגנרטור לבדיקה
<div>הגנרטור לבדיקה נמצא ברשימת הגנרטורים</div>		

איור 24 - שדה בחירת הגנרטור לבדיקה

6. בחירת וקטור העומסים

כחלק מבדיקה של פעילות המערכת לאורך שנה שלמה, יש להכניס את וקטור העומסים היחסי (בטווח בין 0 ל-2) של העומס, ביחס לעומס הקיים במודל, כאשר כל משבצת מייצגת שעה בודדת. לצורך בקרה, יש צורך לכתוב את מספר השעות אותן מתכננים לבדוק, ע"מ להשוות למספר השעות שהוכנס בפועל.

עקומת העומס לבדיקה		
מספר השעות שרוצים להכניס (עבור שנתי מלא יש להכניס 8760)	מספר השעות שהוכנסו	
1	1	יש להזביק את כל הוקטור כרצף תאים מתחת לעמודה זו
<div>כמות השעות תואמת לרצוי</div>		1

איור 25 - שדה עקומת העומס לבדיקה

עקומת העומס לבדיקה		
מספר השעות שהוכנסו	מספר השעות שרוצים להכניס (עבור שנתי מלא יש להכניס 8760)	
3672	4000	יש להדביק את כל הוקטור ברצף תאים מתחת לעמודה זו
<div>כמות השעות שהוזנה לא תואמת את הרצוי</div>		0.4
		0.35

איור 26 - שדה עקומת העומס לבדיקה – דוגמה להזנה לא תקינה

7. בחירת מקדם ההספק של העומסים

המשתמש יכול לבחור את מקדם ההספק של העומסים במערכת, כאשר מדובר באותו מקדם הספק לכלל העומסים. במהלך הריצה, המערכת תקבע את צריכת העומסים בעזרת הצריכה הכוללת שלהם כפי שהוזנה במודל המקורי (צריכה ב-MVA), חלק להספק ממשי ומדומה לפי מקדם ההספק שנבחר והגדלה או הקטנה של הצריכה הכוללת שלהם לפי וקטור העומסים.

מקדם ההספק של העומסים
כלל העומסים בעלי אותו מקדם הספק בתחום בין 0 ל-1. מקדם ההספק הנבחר הוא:
0.92

איור 27 - שדה בחירת מקדם ההספק לעומסים

8. נטרול בדיקת זרמי קצר

לצורך התאמה עתידית לבדיקות של מקורות אנרגיה מתחדשים עבורם אין צורך בבדיקת זרמי קצר, נוספה אפשרות לבטל את הפרמטר הזו מרשימת פרמטרי הרשת שנבדקים. נמצא מתחת לבחירת סוג הבדיקה.

האם לבדוק את זרמי הקצר
כן

איור 28 - שדה ביטול בדיקת זרמי קצר

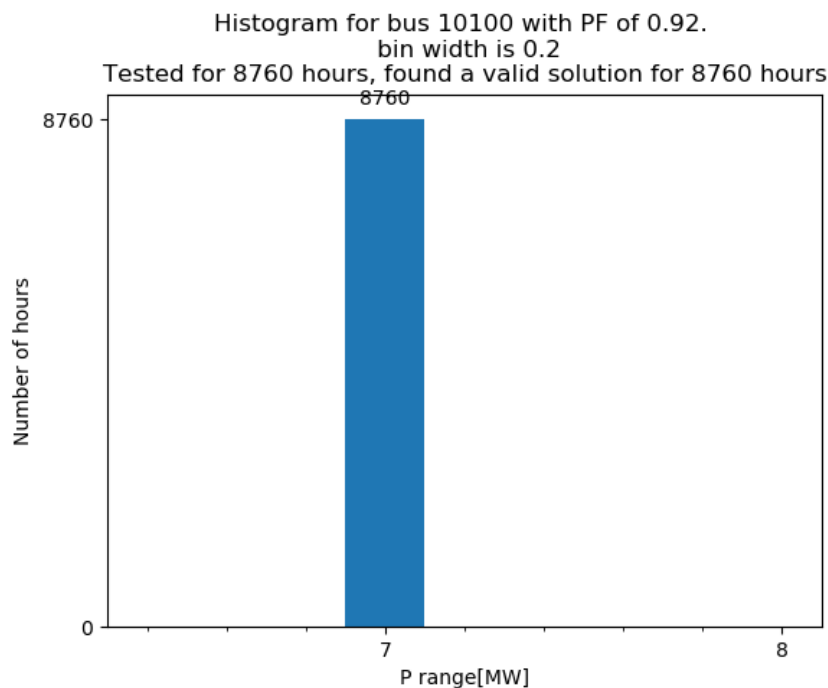
הרצת הקוד

מסמך הנחיות להרצת הקוד מצורף בנספח [2].

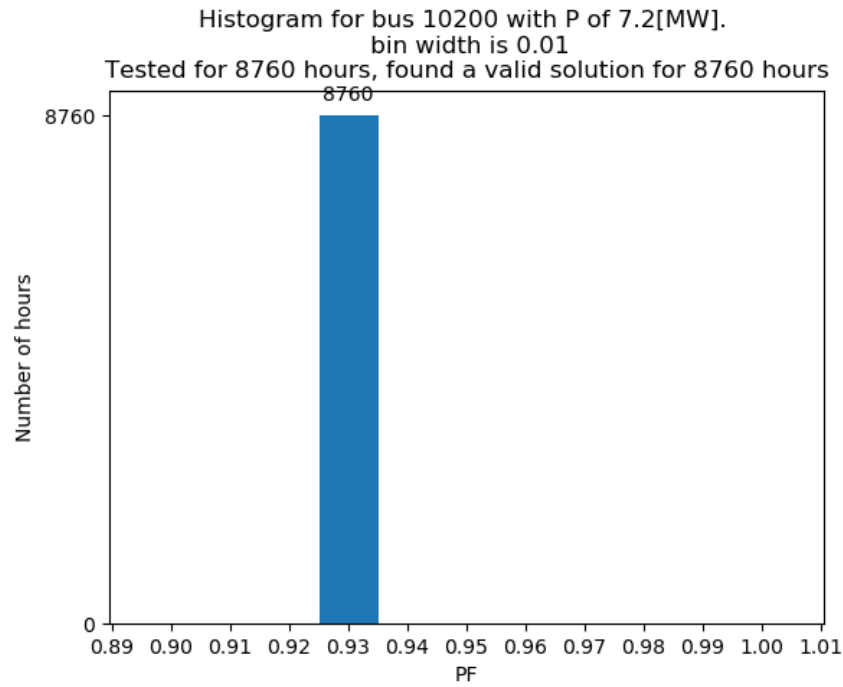
הפלט המתקבל

המערכת מייצרת באופן אוטומטי היסטוגרמות (עבור בדיקות P קבוע או PF קבוע) או גרפים (עבור בדיקת P ו-PF משתנים) לכל פס צבירה שנבדק. תוצאות אלו נשמרות בתיקיית היעד שנקבעה. בנוסף, במידה וסומן "כן" עבור הדפסת כלל הפלט, יוצר קובץ טקסט הכולל את כל הפלט הטקסטואלי ממהלך הריצה, כולל הדפסות של PSSE והדפסות של המערכת. כל תוצר של המערכת (ההיסטוגרמה/גרף, קובץ טקסט) מקבל ID ייחודי לריצה באופן שמאפשר לשמור אותו ללא חשש של דריסת מידע בין ריצה לריצה. בנוסף, ID זה מודפס בסוף הריצה וכך ניתן לקשר בין ריצה מסוימת לפלט שלה.

זמן הריצה משתנה בין סוגי הבדיקות, ותלוי בכמות הפסים הנבדקים וכמות שעות העומסים. הבדיקה השלישית (שילובי PF ו-P) לרוב קצרה יחסית ומשכה נע בין מספר שניות עד דקות בודדות, כתלות בכמות הפסים שנבדקים ובטווח ההספקים הנבדק. הבדיקות האחרות לעומת זאת יכולות לקחת אף כשעה-שעתיים עבור בדיקת של כמות שעות שנתית (8670 שעות) ועבור פס צבירה בודד. כמובן שככל שנבדקים יותר פסים, בדיקות אלו ייקחו זמן רב יותר, אשר יתארך באופן לא לינארי (לדוגמה – זמן הריצה עבור שני פסים נבדקים אינו גדול פי 2 מאשר זמן הריצה עבור פס אחד, כי אם, בממוצע, יותר מכך). בנוסף, הדבר תלוי כמובן במחשב עליו הבדיקה מבוצעת. לפנינו שתי בדיקות אשר משכן היה כ-55 דקות ושעה ו-45 דקות בהתאמה:



איור 29 – תוצאות הרצה לדוגמה עבור PF קבוע (בדיקה 2) במשך שנה שלמה



איור 30 - תוצאות הרצה לדוגמה עבור P קבוע (בדיקה 1) במשך שנה שלמה

תקלות נפוצות

על אף שהקוד נבדק מספר רב של פעמים, קיימות תקלות אשר עשויות לחזור על עצמן בעת הרצת הקוד. להלן מצורפות התקלות הנפוצות בהן עשויים להיתקל בעת הרצת הקוד והאופן בו ניתן לפתור אותן.

- **המערכת לא מזהה את פייתון**

במידה וכאשר נריץ את המערכת, נקבל את השגיאה הבאה:

```
'py' is not recognized as an internal or external command,
operable program or batch file.
```

איור 31 - אי זיהוי פייתון ע"י מערכת ההפעלה

נמצא את הניתוב בו מותקנת גרסת ה python 2.7 (כאשר לרוב מדובר ב "C:\Python27" ונשתמש ב "python.exe" המצוי בתיקייה הנ"ל להרצת הקוד באופן הבא:

```
C:\Users\User\PSSE project\psspy_exersice>C:\Python27\python.exe main.py
```

איור 32 - הוספת ניתוב הפייתון לשורת ההרצה

- **הפייתון לא מזהה את אחת החבילות**

במידה וכאשר נריץ את המערכת, נקבל שגיאה מהצורה הבאה:

```
Traceback (most recent call last):
  File "<input>", line 1, in <module>
  File "C:\Program Files\JetBrains\PyCharm Community Edition 2020.2\plugins\python-ce\helpers\pydev\pydev_bundle\pydev_import_hook.py", line 21, in do_import
    module = self._system_import(name, *args, **kwargs)
ImportError: No module named lib
```

איור 33 - שגיאה בזיהוי חבילת פייתון

כאשר במקום 'lib' כתוב כל שם אחר, נפנה אל רשימת ספריות הפייתון המצוינות בחלק [דרישות המערכת](#) ונוודא שאכן מותקנות כלל החבילות על המחשב שמריץ את המערכת.

- **קוד הפייתון מחזיר exception**

במידה והרצתה של הקוד נכשלת כאשר מופיעה שגיאה מהצורה הבאה:

```
Traceback (most recent call last):
  File "C:/Users/idant/Desktop/PSSE project/psspy_exersice/main.py", line 155, in <module>
    raise Exception("You have to choose only one type of check")
Exception: You have to choose only one type of check
```

איור 34 - שגיאה והחזרת חריגה - exception

כלומר, שגיאה בה מופיעות המילים "raise Exception", ננסה לקרוא את התוכן המופיע בסוף השגיאה ולפעול לפי ההנחיות המתוארות בו, במידה ויש. במקרה הנ"ל לדוגמה, נשים לב שהשגיאה נגרמה מכך שבחרנו מספר בדיקות שונות במקביל, בניגוד לאופן עבודת המערכת, אשר עושה בדיקה יחידה בכל פעם.

נציין כי קיימים מקרים בהם השגיאה מציינת תקלה בהרצת פקודה ספציפית. במקרים אלו יש צורך בבדיקה מעמיקה יותר של התקלה.

• שגיאה במחיקת הקובץ tmp

במידה וחוזרת שגיאה המעידה על כישלון בשמירה / מחיקה של הקובץ "tmp.sav", נריך מחדש את אותה סימולציה. במידה והשגיאה חוזרת על עצמה בצורה מחזורית, מבלי לאפשר למערכת לרוץ, יש צורך בבדיקה מעמיקה יותר של התקלה. דוגמה לשגיאה:

```
Traceback (most recent call last):
  File "C:\Users\dddd\Desktop\PSSEfolder\main.py", line 373, in <module>
    gen4testing, buses_to_check_at)
  File "C:\Users\dddd\Desktop\PSSEfolder\seem_lib.py", line 1621, in each_P_min_PF_new
    pretest_voltages, verbose, new_bus, str(old_id_brn))
  File "C:\Users\dddd\Desktop\PSSEfolder\seem_lib.py", line 850, in find_minimal_PF_for_gen_new
    PF_checking_now)
  File "C:\Users\dddd\Desktop\PSSEfolder\seem_lib.py", line 696, in valid_P_and_PF_comb
    check_scc = check_SCC(gen_bus, gen_id, verbose)
  File "C:\Users\dddd\Desktop\PSSEfolder\seem_lib.py", line 1050, in check_SCC
    currents_without_gen = sc_current(verbose)
  File "C:\Users\dddd\Desktop\PSSEfolder\seem_lib.py", line 995, in sc_current
    raise Exception("Error while saving 'tmp.sav' with error code= " + str(ierr))
Exception: Error while saving 'tmp.sav' with error code= 3
```

איור 35 - שגיאה במחיקת קובץ tmp

• חוזר exception בגלל אי-תאימות בגרסאות

במידה ונקבל שגיאה מהסוג הבא:

```
Traceback (most recent call last):
  File "C:\Users\idant\anaconda3\lib\site-packages\IPython\core\interactiveshell.py", line 3331, in run_code
    exec(code_obj, self.user_global_ns, self.user_ns)
  File "<ipython-input-9-fc8179679267>", line 1, in <module>
    runfile(".\\main.py")
  File "C:\Program Files\JetBrains\PyCharm Community Edition 2020
.2\plugins\python-ce\helpers\pydev\_pydev_bundle\pydev_umd.py", line 197, in runfile
    pydev_imports.execfile(filename, global_vars, local_vars) # execute the script
  File "C:\Program Files\JetBrains\PyCharm Community Edition 2020
.2\plugins\python-ce\helpers\pydev\_pydevimps\_pydev_execfile.py", line 18, in execfile
    exec(compile(contents+"\n", file, 'exec'), glob, loc)
  File ".\\main.py", line 5, in <module>
    import seem_lib as sl
  File "C:\Program Files\JetBrains\PyCharm Community Edition 2020
.2\plugins\python-ce\helpers\pydev\_pydev_bundle\pydev_import_hook.py", line 21, in do_import
    module = self._system_import(name, *args, **kwargs)
  File "C:\Users\idant\Desktop\PSSE project\psspy_exersice\seem_lib.py", line 15, in <module>
    import psspy, pssarrays
  File "C:\Program Files\JetBrains\PyCharm Community Edition 2020
.2\plugins\python-ce\helpers\pydev\_pydev_bundle\pydev_import_hook.py", line 21, in do_import
    module = self._system_import(name, *args, **kwargs)
ImportError: bad magic number in 'psspy': b'\x03\xf3\r\n'
```

איור 36 - שגיאת אי תאימות גרסאות

כלומר, שגיאה שבה מופיע בחלקה התחתון הביטוי "bad magic number", אזי מדובר בשגיאה שמקורה בשימוש בגרסת פייתון לא נכונה. נוודא כי גרסת הפייתון בה נשתמש הינה גרסת הפייתון המצוינת ב**דרישות המערכת**.

פערים טכניים

המערכת המתוארת נכתבה תוך שימוש בכלים חינוכיים בלבד. נכון לזמן כתיבת מילים אלו, עבור מערכת PSS@E, רק גרסה 34, בתצורה מוגבלת, נגישה באופן חינוכי. גרסה זאת מיושנת ומוגבלת ביחס לגרסה בה נעשה שימוש בחנ"מ. יתרה מכך, כיוון שהמערכת נכתבה בשפת Python וכיוון שגרסת ה-PSS@E הנגישה תואמת אך ורק את גרסת Python 2.7, אזי נאלצנו להשתמש בגרסת Python זאת. גרסה זאת של Python יצאה מכלל תמיכה החל מה 01.01.2020, כפי שמובא במקור [1]. בשל כך, בעיות שהתגלו תוך כדי הפרויקט נאלצו להיפתר בדרכים עוקפות שלעיתים גרמו בעצמן לבעיות. יתרה מכך, בעיות שיתגלו בעתיד עלולות להשבית את פעילות המערכת.

יחד עם זאת, נציין כי בהינתן נגישות לגרסאות PSS@E חדשות יותר, התומכות בגרסאות Python חדשות יותר, התאמת הקוד צפויה להיות קלה ומהירה.

רעיונות לפרויקטי המשך

הוספת מדדים ופלט נוספים

בהתאם לדרישות חנ"מ, ניתן יהיה בעתיד להרחיב את המערכת ולהוסיף לה מדדים נוספים אשר יהיה להם ביקוש. בנוסף, ניתן לבצע שינוי באופן בו המערכת מוציאה פלט כעת, וזה באופן שיאפשר להפיק מידע נוסף בהתאם למה שידרש.

התאמת המערכת למקורות אנרגיה מתחדשים

בניגוד לגנרטורים רגילים, מקורות אנרגיה מתחדשים מתנהגים באופן שונה, הכולל בין היתר יכולת "לספוג" הספק ריאקטיבי ועוד. על מנת שהמערכת תוכל לערוך את הבדיקות עבור "גנרטור" של אנרגיה מתחדשת, יש לערוך מספר התאמות קלות בקוד.

תודות

אנו רוצים להודות לכלל השותפים בכתיבת המערכת ומסמך זה ובהם :

- מר פבל קולבנקוב – חברת ניהול המערכת
- מר שמעון כהן – חברת ניהול המערכת
- ד"ר יואש לברון - הטכניון
- מר אביעד נבון – הטכניון

לא היינו מצליחים בפרויקט זה ללא עזרתכם. הצלחתנו הצלחתכם!

ביבליוגרפיה

[1] "Python 2, Sunsetting Python 2", [מקוון]. Available: <https://www.python.org/doc/sunset-python-2>.

נספחים

1. מסמך הגדרות פרמטרי SCC ו SCR שנכתב ע"י חברת החשמל



SCC עדכון הנחיות
3.docx

2. מסמך הנחיות להרצת המערכת



Using
instructions.docx

3. קובץ הרצה הספק קבוע



קובץ הרצה הספק
קבוע 7 מגה וואט
קבוע.xlsx

4. קובץ הרצה מקדם הספק קבוע



קובץ הרצה מקדם
הספק קבוע 0.91
הספק.xlsx

5. קובץ רשת לדוגמה



Example_sav.sav