

## דבר המחבר

סטודנט יקר!

פרויקט גמר בלימודי הנדסאי חשמל מהווה תמצית של כל החומר הנלמד במהלך שנות הלימוד, בעיקר במקצועות "מתקני חשמל ומערכות הספק", "מכונות חשמל" ו"סרטוט סכמתי".

כל פרקי הפרויקט קשורים על-ידי קשר לוגי, כך שלא ניתן לדלג על אחד מהם: פתרונות שהתקבלו בפרק אחד, גוררים תוצאות בפרק אחר. כל בחירה של חומר, ציוד, שיטת התקנה וכו, משפיעה על התוצאות הסופיות של הפרויקט.

במהלך הביצוע תעבור מנושא אחד לנושא אחר, לפי הסדר המוצע בעמודי מדריך זה, ועל-ידי כך תיצור מבנה הפרויקט, שבו כל החלקים מקושרים ותלויים זה בזה.

התוצאות הסופיות של פרויקט, הם, בלי שום ספק, תכניות לוחות חשמל ומתקן חשמלי.

ניתן לחלק את הביצוע ל-3 שלבים עיקריים:

1. איסוף נתונים וכתובת הצעת פרויקט. זהו שלב שבמהלכו הפרויקט "נולד". זהו שלב חשוב מאוד, אך כמעט ולא נראה בעין. כדאי להקדיש לו זמן מזה, להתעניין, לחפש, לבקר באתרים אזוריים/תעשייתיים שונים, ולגבש עמדה.

2. תכנון הפרויקט. זהו שלב פורמלי (בלשון פורמה, צורה), כאשר הפרויקט מקבל את "הפנים". מדריך זה יוביל אותך דרך שלב זה מהתחלה ועד הסוף.

3. סרטוט לוחות חשמל, מתקן חשמלי והארקות וכתובת ספר פרויקט. זהו שלב מקצועי ביותר, והוא נותן לפרויקט את צורתו המקצועית.

פרויקט גמר להנדסאי חשמל – זהו צעד משמעותי חשוב מספסל הלימודים אל המקצוע עצמו.

ספר זה הנו מדריך מלא לביצוע פרויקט גמר: שלב אחרי שלב, החל מכתובת הצעת הפרויקט, ועד לסרטוט התכניות, מוסברים כאן, תוך מתן דוגמאות וציון תקנות החשמל הרלוונטיות ומקורות אחרים נדרשים.

יחד עם זאת, אין לראות בספר זה תחליף למנחה אישי – מהנדס חשמל בעל ידע וניסיון מעשיים!

ברצוני להודות לבוגרי המרכז החרדי בירושלים – 2022 על מתן אישור שימוש בחומר פרויקט הגמר.  
אציין, כי פרויקט לדוגמה המובא בספר, אינו מהווה דוגמת תכנון מתקן חשמלי. מבקש לראות בזה רק אחת האופציות, המשקפת את דעתם של הסטודנטים.

אז תצא לדרך!

מאחל לך הצלחה רבה בביצוע פרויקט גמר ובחיים המקצועיים!

בכבוד רב,

דימה בודנסקי

ירושלים – 2023

## תוכן

1.....	כללי
2.....	א. כתיבת הצעת הפרויקט
4.....	ב. תכנון מתקן התאורה
21.....	ג. תכנון לוחות חשמל משניים
30.....	ד. תכנון מתקן מזוג האוויר
31.....	ה. תכנון לוח חשמל ראשי ובדיקת הסלקטיביות
36.....	ו. חישובי זרמי הקצר ובדיקת הסלקטיביות
38.....	ז. שיפור מקדם-הספק PF
39.....	ח. חישובי פסי-צבירה בלוחות החשמל
40.....	ט. בדיקת מפלי המתח
41.....	י. תכנון הארקות ואמצעי הגנה בפני חשמול
45.....	יא. תכנון גנרטור חירום
47.....	יב. תכנון לוח מתח גבוה
50.....	יג. תאורת חירום, לחצני הפסקת חירום
51.....	יד. תכניות
52.....	פרויקט לדוגמה
110.....	נספחים

## ג. תכנון לוחות חשמל משנה

### נתוני התכנון:

- ← טבלת העומסים.
- ← שיטת ההתקנה של המוליכים.
- ← חוק ותקנות החשמל (מעגלים סופיים-1984 ו-העמסה והגנה של מוליכים – 2014)

### **טבלת העומסים**

טבלת העומסים היא רשימת ציוד חשמלי שמוזן מלוח חשמל משנה, בציון הספק חשמלי, מס' המופעים, ומקדם הספק:

מס' מקדם הספק PF	מס' מופעים	הספק אקטיבי P(kW)	שם מכשיר	מס'
				1
				2
				...
				n

במילוי טבלת העומסים, ניתן להיעזר בנתונים אופייניים של מכשירי חשמל: מכשירים ביתיים/תעשייתיים.

בהיעדר מספרים מדויקים, ניתן לעשות הערכה.

כאשר מדובר במתקן חשמלי קיים, אפשר למפות ולתעד את מכשירי החשמל ע"י קריאת תוויות זיהוי, מדידת זרמים/הספקים וכו'.

בהערכת הספקי מנועים, מפוחים, מדחסים וכו', ניתן להשתמש בקטלוג המנועים שבתוך הנספחים בספר "מתקני חשמל ומערכות הספק".

✓ לציוד משרדי: מחשבים, מדפסות, מכשירי פקס, סורקים – הספקים סטנדרטיים.

✓ עבור גופי התאורה יש להשתמש בתוצאות שהתקבלו בפרק הקודם.

## תכנון לוחות חשמל משנה

- ✓ בתי תקע (שקעים) אינם מהווים צרכן חשמלי, ואין לכלול אותם בטבלת העומסים. במקום, יש לרשום את המכשור החשמלי שעבורו יתוכננו מעגלי בתי התקע, באחד משני האופנים:
- א. ע"י רישום כל מכשיר ומכשיר
- ב. ע"י רישום מכלול המכשירים: ההספק ומקדם ההספק השקולים.

### ✓ מקדמי הספק של מכשירים חשמליים:

- לציוד ביתי וגופי התאורה: 0.92-1.00
- לתנורים ביתיים ותעשייתיים: 1.00
- למזגנים ביתיים: 0.92
- למנועים, מפוחים, מעליות, מזגנים (צ'ילרים) וכו': ניתן לקבל נתונים חשמליים מתוך קטלוג המנועים שבנספחים בספר "מתקני חשמל ומערכות הספק".

## עקרונות תכנון לוחות משנה

תכנון ומיקום לוח יעשה בהתאם לקובץ תקנות החשמל (התקנת לוחות במתח עד 1000V), 1991.

לפי העיקרון הטריטוריאלי, יש לתכנן לוח חשמל משנה בכל שטח אשר מוגדר כעצמאי: קומה, מחלקה, מטבח, משרדים, חדר אוכל, מעבדה, אולם ייצור, חדר מחשבים וכו'.

(כמובן, שאין צורך בלוח משנה בחללים קטנים אשר מהווים חלק משטח גדול יותר וכמות מכשירי החשמל בהם היא קטנה, כמו כיתה, חדר וכו').

לפי העיקרון הייעודי, יש לתכנן לוח חשמל משנה לכל מערכת עצמאית, כמו: מתקן מזוג אוויר, חדר מכונות, מרכזית תאורת חוץ וכו'.

חלוקת המעגלים בלוח חשמל תיעשה בהתאם לתקנות החשמל (מעגלים סופיים הניזונים במתח עד 1000V), 1984. בקביעת מספר מעגלים מינימלי לתאורה ולבתי תקע, יש להתייחס במיוחד לתקנות מס' 10-15 בקובץ תקנות זה.