



הגנת "איבוד מתח מקור" LOSS OF MAIN (LOM)

בשנים האחרונות הולך וגובר השימוש במקורות ייצור מבוזרים המסונכרנים לרשת החשמל: דיזל גנרטורים, מתקנים פוטו-וולטאיים, מתקני טורבינות רוח, וכדומה. בעת תקלה ברשת החשמל וניתוקה בנקודה מסוימת, עלול להיווצר במורד הרשת מנקודת הניתוק "אי חשמלי", שכולל גם מקורות ייצור מבוזרים וגם צרכנים, כך שמקורות הייצור מזינים את ה"אי" שנוצר. תצורה זו מסוכנת לצרכנים ולמקורות הייצור גם יחד, ולכן מחייבת ניתוק של מקורות הייצור בעת תקלה ברשת. אחד האמצעים ליישום זה הוא הגנת איבוד מתח מקור הקרויה Loss of Main, ועל כך בקצרה במאמר שלפניכם.

מצב זה אינו רצוי מנקודת המבט של איכות החשמל, והוא אף עלול לגרום לסיכון בטיחותי, כמתואר בהמשך המאמר. ולכן, מקורות הייצור מתבקשים לזהות בעיות באספקה מצד רשת החלוקה ("איבוד מתח מקור") ולהתנתק כתוצאה מכך מרשת החלוקה.



הגנת "איבוד מתח מקור" (LOM) היא יישום הכרחי בפעילות של מקורות ייצור קבועים המסונכרנים לרשת החלוקה, או גם כאלה בעלי מערכת "העברה שקטה" (גנרטור - חח"י). בין מקורות ייצור אלה ניתן לתאר טורבינות רוח, מתקנים פוטו-וולטאיים, דיזל גנרטורים וכדומה.

מטרת הגנת ה-LOM היא למנוע היווצרות של "איים חשמליים" ברשת (Power Islands). מדובר בתרחיש שבו חלק מרשת החלוקה מנותק מצד האספקה, אך צרכני הרשת ממשיכים לקבל אספקה באמצעות אותם מקורות ייצור מבוזרים הנמצאים בתחומם, כמתואר באיור 1.

בעיית "אי החשמל"

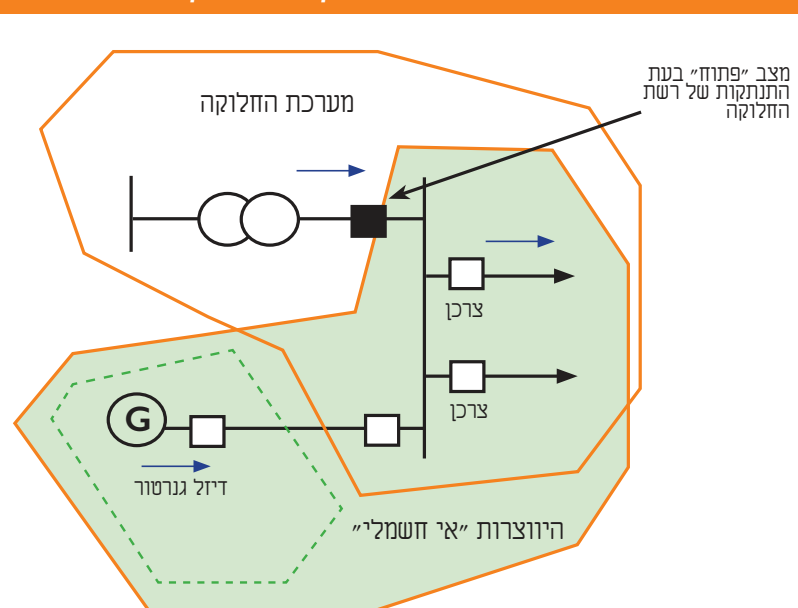
כאמור, מצב של "אי חשמלי" ברשת החלוקה עשוי להיות מסוכן, מאחר ומקורות הייצור ממשיכים להזרים אנרגיה לרשת שהם אינם "מורשים"

להזינה. הדבר עלול לסכן את העובדים במתקנים השונים בתחום ה"אי", בשעה שהרשת המזינה אמורה להיות מופסקת. בנוסף, עלולות להיגרם בעיות באיכות החשמל המסופק - וזאת עקב חוסר איזון בין הספקי מקורות הייצור לעומסי הצרכנים בכל רגע ורגע, כך שאספקת החשמל לצרכנים עלולה להיות בלתי יציבה מבחינת מתח ותדר. הדבר עלול לפגוע במתקני החשמל של הצרכנים, וכן עלול לפגוע גם במקורות הייצור ואף לגרום לקריסתם. בעת חיבור חוזר של מתח רשת האספקה, עלולים מקורות הייצור להיות במצב של אי-סנכרון עם רשת האספקה ולהינזק מכך. יתירה מכך, תהליך גילוי תקלות ברשת שבתוך "אי החשמל" קשה יותר.

ממסר הגנת איבוד מתח מקור - לזיהוי ומניעת "אי חשמלי"

על-מנת למנוע מצב של "אי חשמלי", כל מקורות הייצור שמחוברים לרשת נדרשים להתקין ממסר הגנת איבוד מתח מקור (LOM), אשר בניגוד לממסר חוסר

איור 1: דוגמה - היווצרות של "אי חשמלי" בתוך רשת החלוקה



פונקציית הגנה ROCOF - Rate of Change of Frequency

הגנה זו פועלת על בסיס בדיקה של קצב שינוי התדר בזמן df/dt בנקודת החיבור של מקור הייצור לרשת. במידה וערך זה עולה על ערך סף כלשהו, מקור הייצור יתנתק מהרשת. למעשה, כאשר רשת האספקה התנתקה מסיבה כלשהי, מקור הייצור "רואה" את כל עומסי (אימפדנס) הרשת ולכן תדר האספקה שלו יילך וידעך. הגנה זו אמורה להגיב תוך כ-80 מילי-שניות, עוד בטרם קרסה רשת האספקה.

פונקציית הגנה VS - Voltage Vector Shift

הגנה זו נשענת על אי-איזון הספקים ברגע היווצרות "האי החשמלי". באיור 2 מוצג לדוגמה מעגל תמורה, שמתאר את היווצרות האי החשמלי. כמתואר באיור, בטרם נוצר "אי חשמלי" המתג A סוגר וזרם העומס IL מסופק גם על-ידי מקור הייצור המקומי (IG) (גנרטור בדוגמה שבאיור) וגם על-ידי הרשת (Igrid). זווית העומס של הגנרטור היא θ . לאחר היווצרות "האי החשמלי", זרם העומס מסופק בלעדית על-ידי הגנרטור. השינוי בזרם זה גורם למתח בנקודת החיבור של הגנרטור לרשת (המתח על העומס) V_t לשנות את זוויתו בערך של $\Delta\theta$, עקב השתנות גודל מפל המתח הנובע מההיגב של הגנרטור X_d .

למעשה, פונקציית הגנה זו מזהה שינוי בזווית של וקטור המתח. היא מהירה יותר מפונקציית ההגנה ROCOF, והיא אמורה להגיב תוך כ-60 מילי-שניות (בודקת שינוי בזווית המתח בין המחזור הראשון לבין המחזור השלישי של גל הסינוס).

פונקציות נוספות

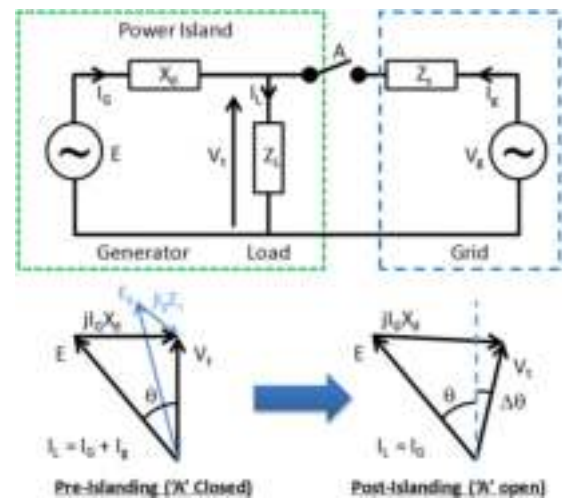
הפונקציות שתוארו לעיל הן השכיחות והמהירות יחסית, אולם קיימות עוד פונקציות הגנה איטיות יותר, המכוילות לזמני תגובה של מאה מילי-שניות (0.1 שנייה) ומעלה, כדלקמן:

- פונקציית הגנה Low Voltage
- פונקציית הגנה High Voltage
- פונקציית הגנה Low Frequency
- פונקציית הגנה High Frequency

מתח (N.V) - אשר, כשמו, מזהה רק חוסר מתח - הוא נדרש לזהות גם את כיוון התקלה, מאחר ובפועל במצב של אי חשמלי קיים מתח ממקורות ייצור בתחום האי.

למספר LOM מספר הגנות הפועלות בשיטות שונות, כמתואר בהמשך המאמר. למעשה, נדרש לנתק את מקורות הייצור תוך 250 מילי-שניות לכל היותר, כדי למנוע מצב של אי-סנכרון בין מקורות הייצור לרשת הזינה בעת חיבור חוזר שלה. החיבור החוזר האוטומטי של מקורות הייצור לרשת החלוקה, יתאפשר רק בחלוף מספר דקות שבהן רשת החלוקה פועלת במצב יציב.

איור 2: שינוי בזווית וקטור המתח בעקבות היווצרות "אי חשמלי"



מקור: IET Generation, Transmission & Distribution- 5/2014