

הגנות חשמליות בגנרטורים ובתחנות כוח

קובי פרץ

והמרתם לשלושת הרכיבים הסימטריים.
הרכיב השלילי הוא הגורם להפעלת ההגנה.

גנרטורים עד 3MW

Frequency protection

התקלה מתרחשת כאשר נוצרת אי-התאמה בין העומס לייצור.
למשל בהתנתקות מהרשת ומעבר לאי, או כאשר הרשת הארצית מתפלגת לשני אזורים.
אם העומס קטן מהיצור התדירות עולה. מצב זה לרוב מווסת על-ידי ה-Governor.

אם העומס גדול מהייצור התדירות יורדת. גם כאן ה-Governor יכול לווסת, אולם לעתים, במצב כזה יש לבצע השלטה עומסים.
לרוב הנזק הצפוי מתקלה זו הוא ל-Prime mover.

Directional power protection

גנרטור במצב של Reverse power למעשה מסתובב נגד הכיוון הטבעי שלו.

הנזק הצפוי במצב כזה הוא ל-Prime mover שלא תמיד מיועד להסתובב הפוך או שאינו יכול להתמיד בכך.
לעתים הגנה זו משמשת גם למתן פקודת בקרה למפסק להיפתח כאשר הממסר מזהה מצב של Low forward power.

גנרטורים עד 10MW

Rotor Earth fault

קצר יחיד בין ליפוף הרוטור לבין גוף המכונה לרוב לא יורגש כיוון שהמתח ברוטור הוא מתח צף.

קצר שני לעומת זאת יגרום להסטה חזקה של זרם מחוץ לסלילי הרוטור ולעיוות של השדה המגנטי.

כמן כן, ייתכן מצב של קצר פנימי בין ליפופי הרוטור שגורם גם הוא לעיוות השטף המגנטי.

המשותף לכל התקלות הללו הוא שקצר ברוטור גורם לשדה לא סימטרי שגורם לרעידות ולנזק מכני של המכונה.

מאחר שמעגל הרוטור הוא מעגל DC מבודד מהאדמה ויותר מכך, במכונות Brushless אין קשר ישיר בין הרוטור הסובב לבין הסביבה החיצונית הסטטית, יש קושי לאתר ולחוש את התקלה.

מבוא:

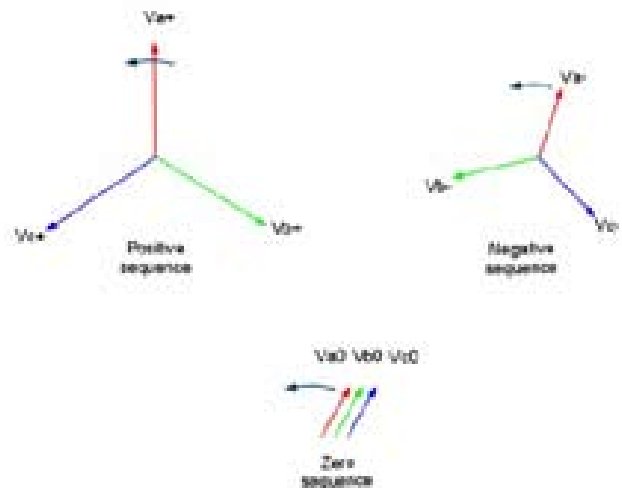
כדי לתת לגנרטורים הגנה חשמלית נדרש מגוון רחב של פונקציות הגנה.

חלקן רגילות ומוכרות, כגון זליגות, זרם יתר, עומס יתר ואחרות. הגנות אלו, חשובות לא פחות מהאחרות, אולם מאמר זה אינו דן בהן.

במאמר זה נסקור בקצרה וניתן מושגים כללים לסוגי ההגנות השונים הבאים לידי שימוש במיוחד בתחנות כוח ומוכרים פחות, כיוון שאינן בשימוש במקומות אחרים.
כמו כן, נדרג את השימוש בהגנות על פי גדלי היחידות.

גנרטורים קטנים - עד 500kW

Negative sequence protection



הרכיב השלילי של הזרם הנוצר כתוצאה מאי-איוון בעומס, משרה מהסטטור שדה נגדי פועם על הרוטור וגורם לחימום ניכר של הרוטור בגלל זרמי Eddy.

לשם המחשת הסכנה - אי-איוון בגודל של עומס חד פאזי בזרם נומינלי יכול לגרום לריכוך הרוטור.
ערך זרם התקלה מחושב בממסר באמצעות מדידת הזרמים

כאשר החיבור נעשה דרך שנאי יחידה, הגנה זו מקיפה באופן כולל את הטורבינה ביחד עם שנאי היחידה.

כאשר בנוסף הזנת הבית של הטורבינה מוזנת ממתח הגנרטור, נוצר למעשה ענף נוסף של זרם שיש לכלול אותו בהגנה זו.

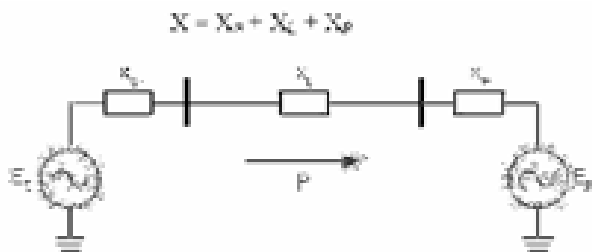
Overfluxing

תופעה זו מתרחשת כאשר היחס בין המתח לתדר עולה מעל סף מסוים.

מצב זה גורם לרוויה בברזל ול"שיטוט" השטף העודף החוצה ממנו לחלקים שאינם מיועדים לכך. דבר זה גורם לחום יתר.

זיהוי התקלה נעשה באמצעות מדידת מתח בלבד וקריאת ערכו והתדר שלו.

Pole slipping

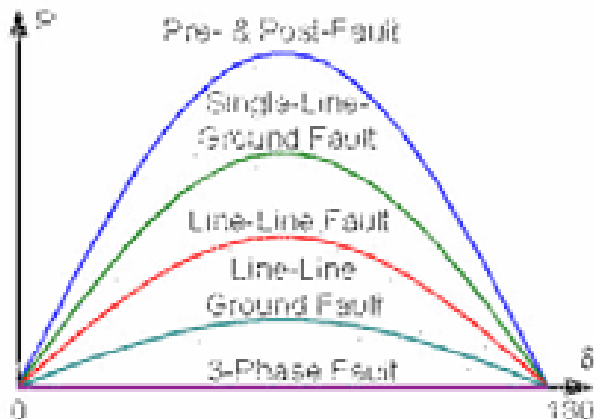


יכולת העברת ההספק מחושבת על פי הנוסחה הבאה:

$$P = \frac{E_1 \cdot E_2}{X} \cdot \sin \delta$$

האימפדנס של מערכת התמסורת בעת קצר משתנה ובעקבות זאת, יכולת העברת ההספק החשמלי מהטורבינה לרשת קטנה.

אולם לפני הקצר, ייצור ההספק טעם לעומס המכני. כעת נוצר עודף ייצור הספק חשמלי. זה גורם לרוטור של הטורבינה להאיץ ולצבור תנע עודף ולהגדיל את זווית המסירה (δ). לאחר סילוק הקצר, הטורבינה מוצאת את עצמה מול:



- עומס מכני שלצורך הפשטות, נניח ששווה לזה שלפני התקלה.
- אימפדנס של מערכת המסירה, שלצורך הפשטות, נניח ששווה לזה שלפני התקלה.
- זווית מסירה (δ) גדולה מהנדרש.
- מהירות ותנע מוגברים.

אחד הפתרונות לכך הוא בהתקן המורכב בתוך מרווח האוויר אשר בנוי מ-PROB שעליו מלוכף סליל.

ה-PROB מנטר את השדה שנוצר מהקוטב החיובי ובנפרד את זה שנוצר מהקוטב השלילי.

כל שוני ביניהם מעיד על תקלה.

כמו כן, יחידה כזו יכולה לכלול בזיכרון צורות גל של שדה תקין להשוואה עם זה הנמדד.

עקב הרגישות הגבוהה של ההתקן ובתלות בחומרת התקלה, ניתן להחליט אם להפסיק את המכונה מיד או לחכות להפסקה ולתחזוקה.

חוסר מתח בסטטור בשילוב עם זרם יתר

כאשר יש קצר קרוב להדקי הגנרטור, זרם התקלה דועך במהירות ואתו גם מתח הגנרטור.

זרם התקלה עלול לרדת מתחת לערך שיפעיל את הגנת זרם היתר הרגילה.

הגנה זו מאפשרת לשנות את ערך הזרם שיפעיל את ההגנה כתלות במתח על הדקי הגנרטור ובכך לאפשר את ניתוק התקלה ובידודה מהמקור.

הגנה זו מזהה גם מצב של חיבור לא מתוכנן לרשת. תקלה זו גורמת לגנרטור להסתובב כמנוע אסינכרוני. מצב זה משרה זרמים חזקים ברוטור (אם מפסק העירור סגור). זרמים אלו גורמים לחימום ולנזק.

Loss of excitation

קצר בשדה ועוד מספר רב של אירועים יכולים לגרום לאובדן העירור בגנרטור בזמן עבודתו.

הגנרטור עובר במצב זה לעבודה אסינכרונית.

התוצאה של מצב זה הינה גם זרמים ריאקטיביים גדולים בסטטור וגם נפילת מתח חריגה ברשת עקב ספיגה גדולה של אנרגיה ריאקטיבית על ידי המכונה.

זיהוי תקלה זו נעשה על ידי ממסר Under current עם השהיה, או במכונות גדולות יותר, בשילוב עם ממסר יציאה מסינכרון, או ממסר אימפדנס.

גנרטורים וטורבינות עד 50MW

יתירות

בגנרטורים מסדר גודל זה מגוון ההגנות דומה לזה שקטנים ממנו, אולם השוני הוא שהצורך והכדאיות של יתירות ההגנות עולים.

היתירות יכולה להיות בחלק מפונקציות ההגנה או בכולן.

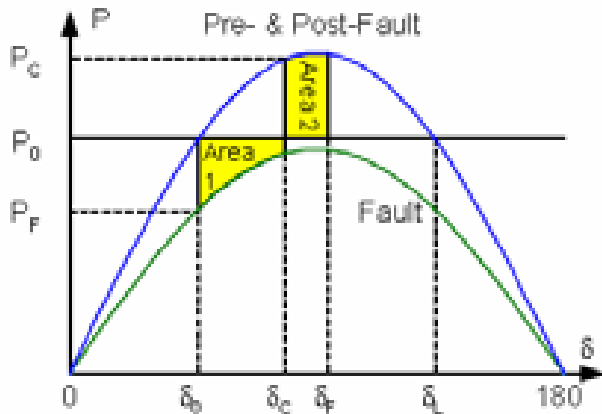
לעתים מומלץ לתת יתירות גם על ידי פונקציות הגנה שונות שמזהות את אותן התקלות בשיטות שונות, כגון: הגנה דיפרנציאלית והגנת זליגה.

גנרטורים וטורבינות מעל 50MW

הגנה דיפרנציאלית של היחידה

ליחידות בסדר גודל זה, נהוג להוסיף הגנה דיפרנציאלית.

כאשר הטורבינה מחוברת ישירות לרשת, הגנה זו חופפת למעשה להגנה הדיפרנציאלית של הטורבינה.



שיטה שמתאימה למכונות גדולות יותר היא שלפני ניתוק מפסק השדה מחברים נגד מקבילי בגודל חשמלי של כ-5 פעמים הסליליות של הרוטור. דבר זה גורם למעגל להפוך לבעל L/R נמוך ואז בפתיחת מפסק הזרם אין קפיצת מתח גדולה. לאחר פתיחת המפסק, הנגד פורק את האנרגיה מסליל הרוטור במהירות, אף על פי שתהליך זה יכול להמשיך למעלה משנייה.

שיטה נוספת אפשרית עם עירור סטטי מבוצעת על-ידי היפוך זמני של המתח לשדה שגורם לעצירה מהירה של זרם העירור לפני פתיחת המפסק.

:Loss of mains

מטרות הגנה זו הן:

- למנוע מצב שבו הגנרטור יישאר להזין חלקי רשת שהוא אינו מורשה להזין במקום הרשת הארצית.
- למנוע קריסת הגנרטור יחד עם הרשת וניסיון להציל את יכולת הייצור שלו.

ההגדרה "Loss of mains" מתייחסת למכלול של סוגי הגנות אפשריות שכולן נועדו לזהות מצב שבו טורבינה עבדה מול רשת והרשת עוברת או עברה למצב קריסה.

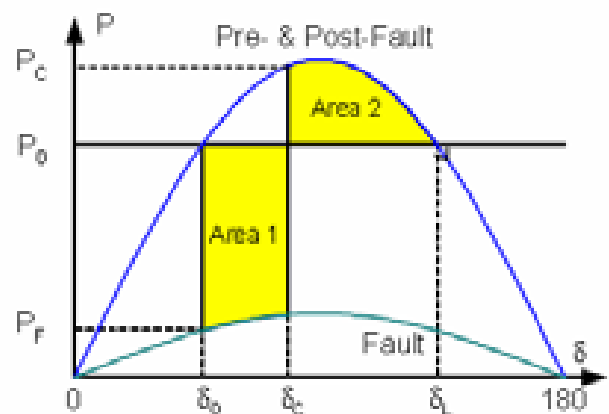
- הגנת Reverse power - במצב שבו גנרטור מחובר למערכת המוזנת במקביל גם מהרשת ובנוסף הגנרטור אינו מיועד למכירת אנרגיה לרשת, ניתן לזהות בקלות שבנקודת החיבור לרשת מתבצעת העברת אנרגיה כלפי חוץ ולנתק את היחידה. הגנה זו מזהה בדיעבד את אובדן כושר הייצור מצד הרשת.

- הגנת שינוי מופע - הגנה זו מזהה את השינוי הדרסטי שמתקבל במופע של הרשת כאשר הגנרציה ברשת התנתקה. גם הגנה זו מזהה בדיעבד את אובדן כושר הייצור מצד הרשת.

- הגנת תדר - במצב שהטורבינה עובדת בבקרת הספק, והתדר של הטורבינה הולך ודועך עקב מצב של קריסה ברשת, הגנה זו מגיבה בניתוק. הגנה זו יכולה להגיב גם לפני הקריסה כאשר הרשת כבר נכנסה למצוקה והתדר דועך עוד לפני שהתנתקו יחידות הייצור.

:Synchrocheck

כאשר הזנת הבית של הטורבינה מוזנת משני מקורות חליפיים ואחד מהם הוא הייצור העצמי והשני הוא מקור זר, יש לבצע ניתוח של הרשת וזיהוי של כל המצבים שבהם עלול להיווצר חיבור לא מתוכנן בין שתי רשתות ללא סינכרון. ממצבים אלו יש לזהות את נקודות המפתח שבהן



אם ברגע זה ההספק המועבר קטן מההספק המכני, בקרת הטורבינה תאיץ עוד את הטורבינה וזווית המסירה תגדל עוד ועוד והטורבינה תברח ותצא מסינכרון.

אם ברגע זה ההספק המועבר גדול מהעומס המכני, בקרת הטורבינה תחל לרסן את מהירות הטורבינה כדי לנסות ולהקטין את הזווית. אולם לרוטור יש תנע שלא מאפשר לשינוי להיות מידי וזווית המסירה ממשיכה לגדול (בקצב הולך וקטן), עד שלבסוף, ברגע מסוים, היא תתחיל לקטון.

אם ברגע זה יכולת העברת ההספק עדיין גדולה מהעומס המכני, הטורבינה תחזור למצב יציב.

אולם אם ברגע זה ההספק המועבר קטן מהמכני, בקרת הטורבינה תשנה כיוון ותשוב להאיץ את הטורבינה. מובן שמצב זה יגרום שוב ליציאה מסנכרון.

יציאה מסנכרון משבשת את כל מסירת האנרגיה ברשת ויכולה להביא לקריסה.

ממסר ההגנה מודד מתח וזרם ומחשב את האימפדנס בהדקי הטורבינה. האימפדנס כמו גם קצב שינוי האימפדנס מהווים קריטריון לקביעת מצב של יציאה מסנכרון. יש לציין שהדרך הטובה ביותר לטפל ביציאה מסנכרון היא לא להגיע למצב זה. כדי ליישם זאת יש לבצע סקר ולחשב את זמן התקלה המקסימלי ליציאה מסנכרון ולכיל את ההגנות להשהיות כאלה שלא יתפתח מצב זה.

כללי לכל גדלי היחידות

:Field suppression

במצבים שבהם קצר מוזן ישירות מהגנרטור ללא אמצעי ניתוק, כגון תקלות פנימיות או תקלות לפני מפסק הגנרטור, הדרך היחידה להפסיק את הזנת הקצר היא הפסקת העירור. לכן יש צורך במערכת שתדאג את העירור במהירות המירבית. עצירה של סיבוב המכונה אינו אפשרי עקב התנע העצום של הרוטור. כמו כן פתיחה של מעגל הרוטור יגרום לעליית מתח אדירה בגלל הסליליות הגדולה. הדרך הנכונה לבצע דיכוי של השדה היא לספוג את האנרגיה באופן כלשהו.

דרך אחת, מתאימה יותר למכונות קטנות, היא פתיחת זרם העירור עם מפסק ללא תאי כיבוי קשת. הקשת שתיווצר בפתיחת המפסק תגרום לנפילת מתח העירור לרמה מספקת. שיטה זו של דיכוי השדה היא די בלתי נשלטת ולכן במכונות גדולות יותר משתמשים בשיטה שונה.