

תחנות כוח קונבנציונליות

בהיבט של יציבות ואמינות המערכת

ד"ר מריו ברמן, חברת יאני הנדסה

יציבות מערכת ההספק

במצב תפעולי תקין, יחידות הייצור מסונכרנות למערכת.

גנרטורים סינכרוניים מפתחים באופן "טבעי" מומנטים הפועלים במגמה לשמור על הסינכרון בין יחידות הייצור.

יציבות מערכת ההספק - המשך

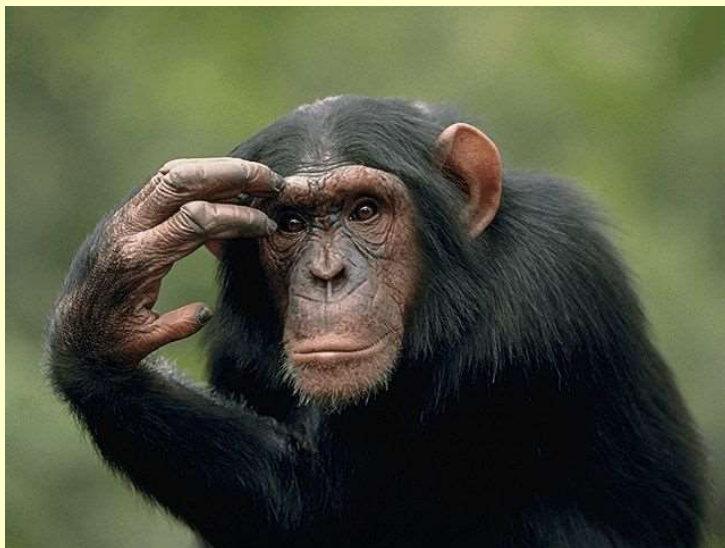
באירועים חריגים, גנרטור מסוים עלול לאבד את הסינכרון או להתנתק ממערכת ההולכה.

במצבים אלה מופיעות תופעות מעבר במערכת ההספק, המאופיינות בשינויים משמעותיים בערכי המתחים והזרמים (כולל שינויים בתדירות אותות המערכת).

מערכת הספק במצב מתמיד

במצב אידיאלי, התדירות והערך האפקטיבי של מתחי המערכת הם קבועים.

באיזה חלק מהזמן פרמטרים אלה הם קבועים?



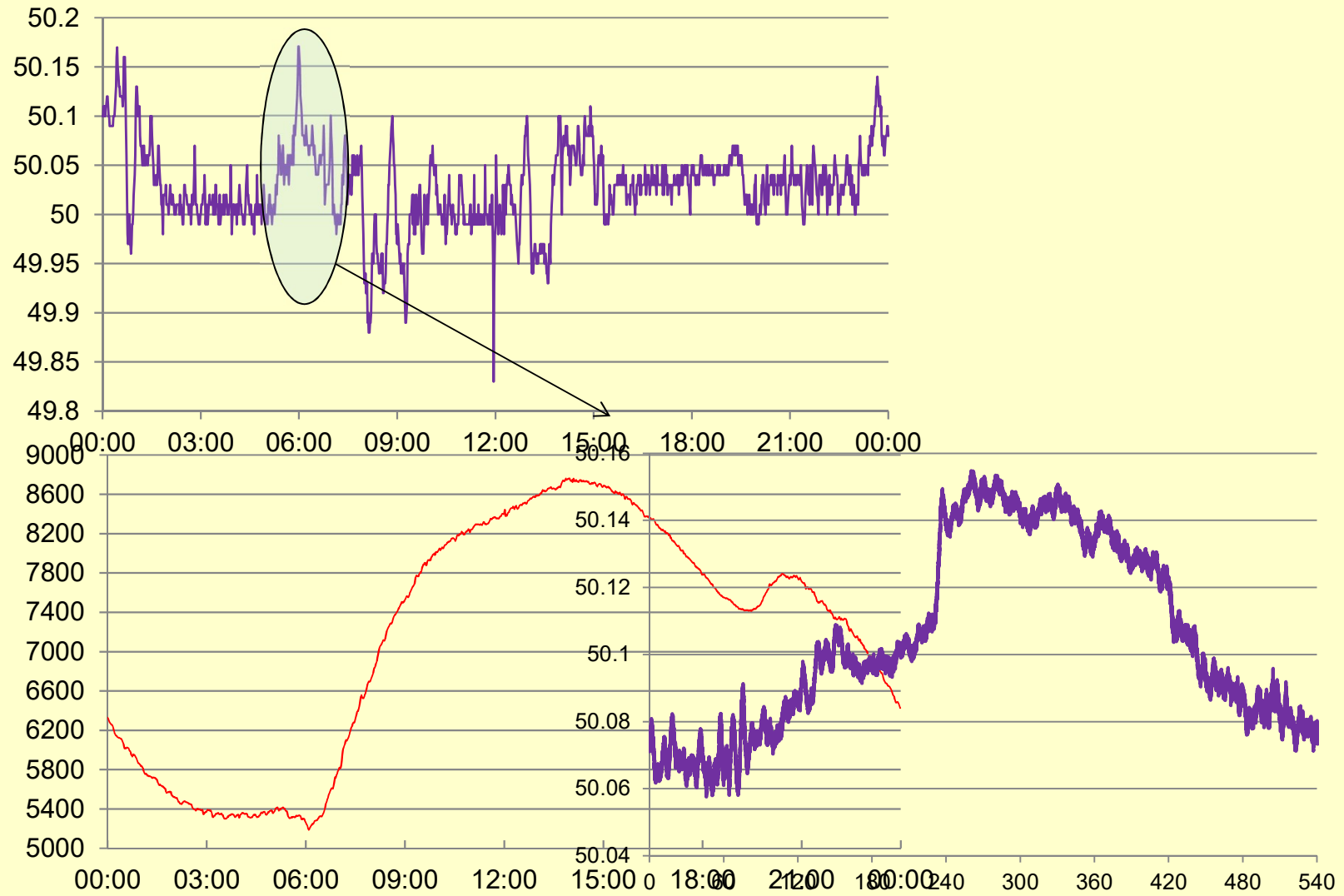
א. מעל 95%

ב. בסביבות 85%

ג. בסביבות 30%

ד. קרוב ל- 0%

עומס כללי ותדירות



מערכת הספק במצב מתמיד

הסיבות לכך שמצב אידיאלי זה אינו מתקיים:

• שינויי עומס אקראיים מתרחשים בכל רגע ורגע וגורמים לעדכונים בייצור של הגנרטורים השונים ומלווים בשינויי תדירות.

• לעיתים מתרחשים שינויי עומס משמעותיים.

מערכת הספק במצב מתמיד

סיבות אפשריות לשינויי עומס משמעותיים:

- תקלות ברשת ההולכה
 - תקלה בפריט/י ציוד
 - הפעלה או הפסקה של עומס משמעותי
 - הפסקת מעגל או יחידת ייצור
- במקרים אלה רצוי שמערכת ההספק תעבור מ-
"מצב מתמיד" התחלתי ל-"מצב מתמיד" חדש.

מערכת הספק במצב מעבר

**המעבר מהמצב ההתחלתי לסופי מלווה
בתופעות תנודתיות משמעותיות.**

**בתקופת המעבר עלולים להתרחש מצבי
יציאה מסינכרון של יחידת ייצור או תנודות
הספק במערכת ההולכה.**

**התנודות עלולות לגרום לפתיחת מעגל
במערכת ההולכה ולתופעות מעבר נוספות.**

בעית היציבות

כשהפרעה גורמת לחוסר איזון בין הייצור לבין העומס, או כשמתרחשים שינויים משמעותיים ברשת, המערכת צריכה להגיע למצב תפעולי חדש.

כאשר כל יחידות הייצור נשארות מסונכרנות, המערכת תוגדר כיציבה עבור האירוע שהתרחש.

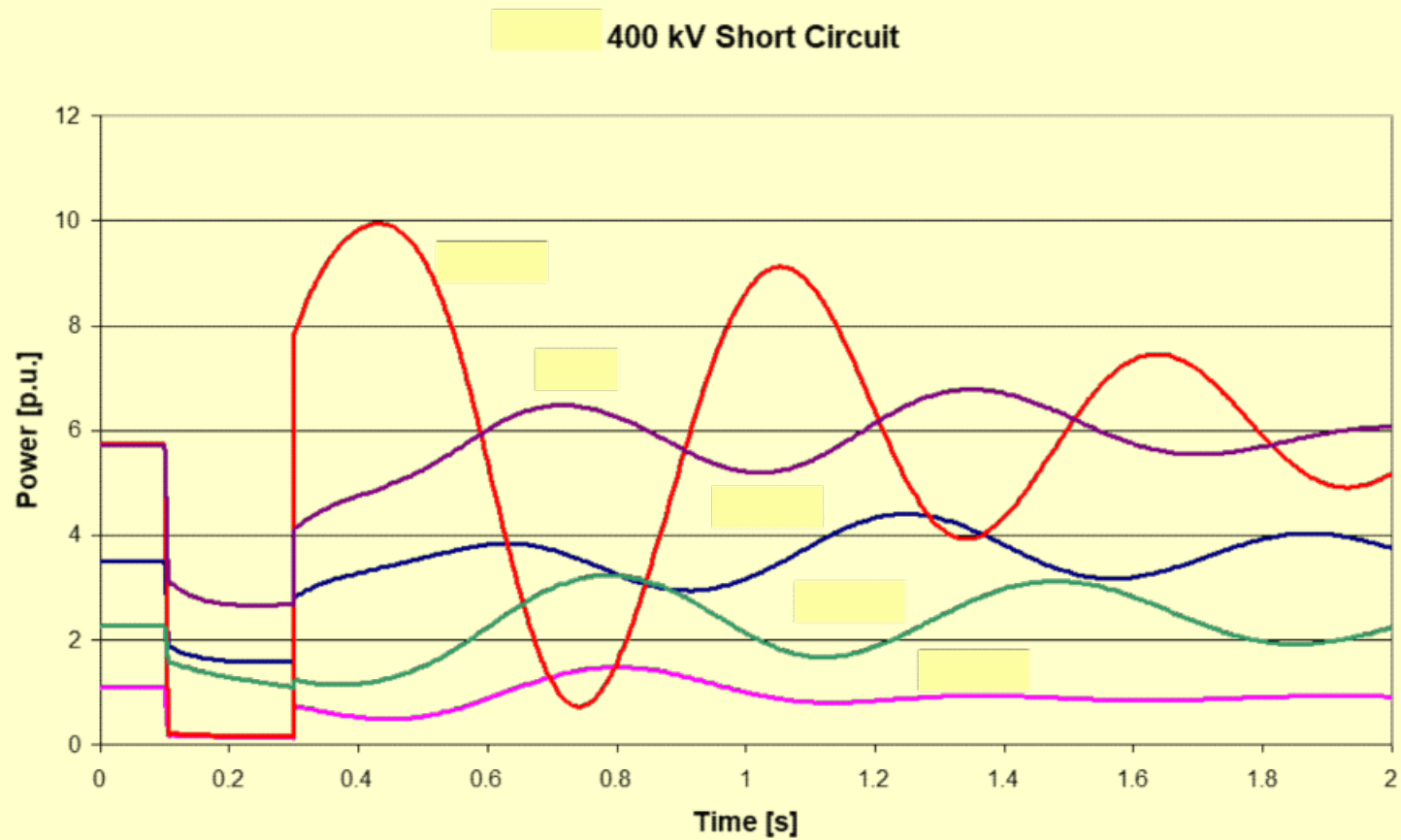
בעית היציבות – חמרת האירוע

**בכל מערכת הספק עלולים להתרחש אירועים
חמורים שיוציאו את המערכת מיציבות.**

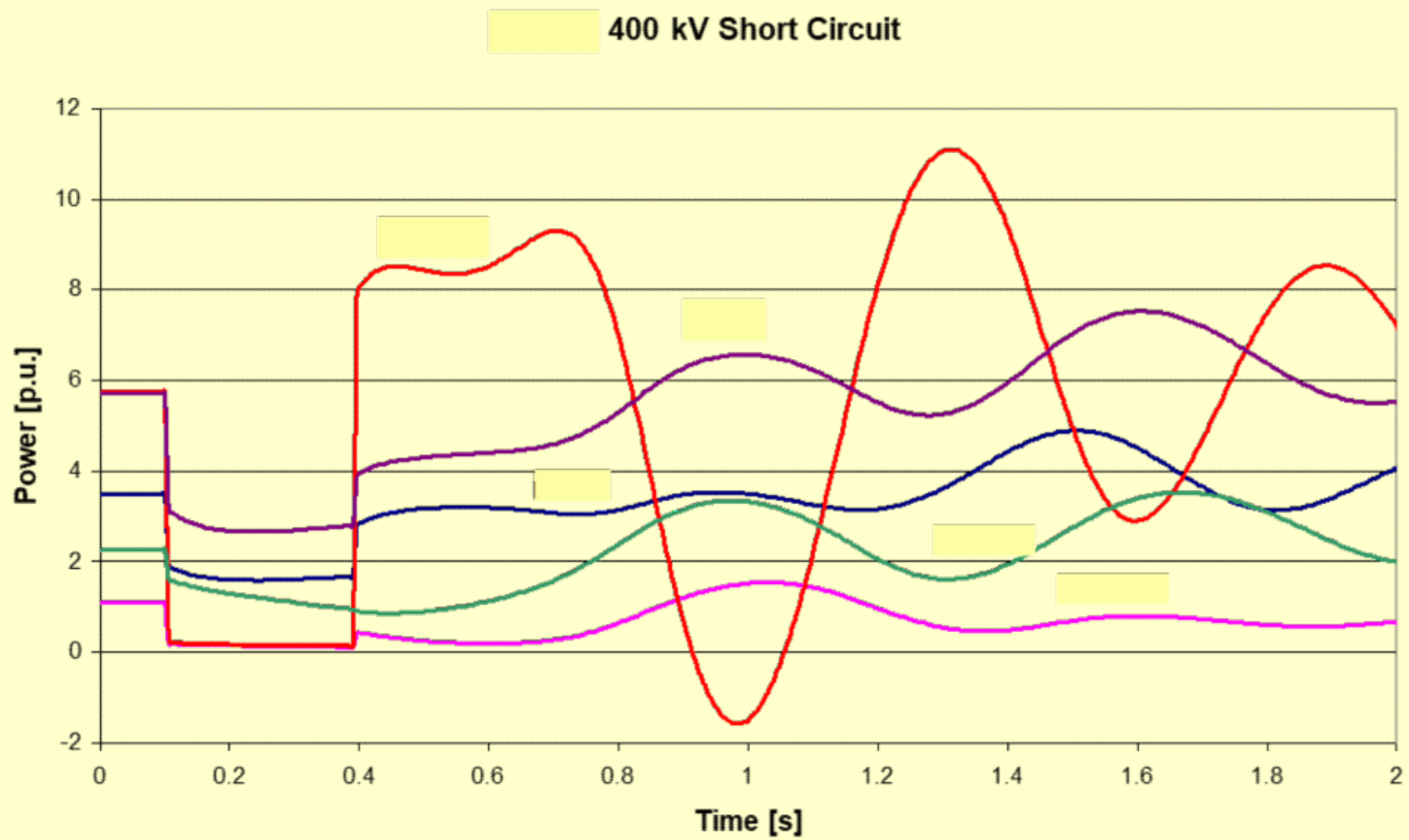
מסקנה:

**האירועים שעבורם המערכת מתוכננת להישאר
במצב יציב חייבים להיבחר מראש בקפידה.**

200 ms S.C. – בעיית היציבות



בעית היציבות – 300 ms S.C.



הגדרות

Transient Period:

כשמתרחש אירוע במערכת שהייתה במצב מתמיד, מתפתחת תופעת מעבר במשך פרק זמן המוגדר **כתקופת מעבר**.

Dynamic System Performance:

התנהגות המערכת בתקופת המעבר נקראת **התנהגות דינאמית של המערכת**.

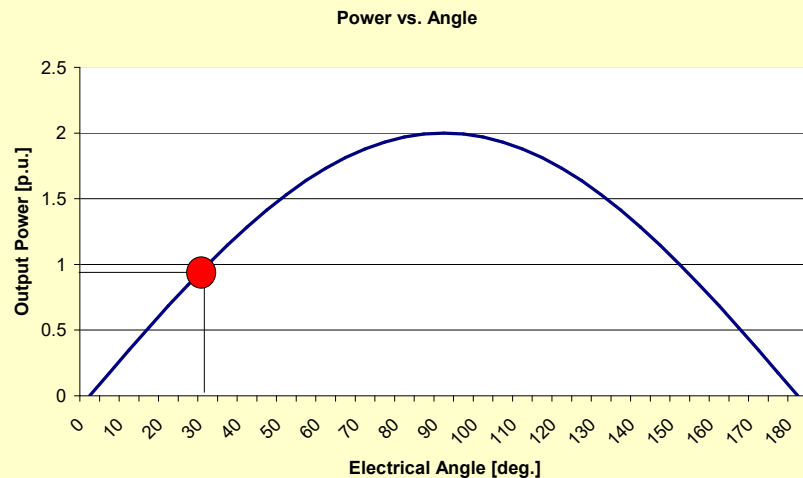
חקירת יציבות מערכת ההספק - Transient Stability Study

מטרת החקירה: לקבוע אם מערכת ההספק עמידה במעבר, בתנאים מסוימים ועבור אירוע מסוים.

יציבות המעבר תלויה ישירות בחומרתו ובמיקומו של האירוע, ובאופן משני - במצב העבודה ההתחלתי של המערכת.

שינויים איטיים של העומס

כששינויי העומס הם אקראיים ואיטיים, על מפקח המערכת לשתף מספיק יחידות ייצור כדי להתגבר עליהם מבלי לגרום לשינויים משמעותיים בתדירות.



נקודת העבודה של המכונות תימצא בחלק היציב של העקום הספק-זווית.

יציאה מסיכרון

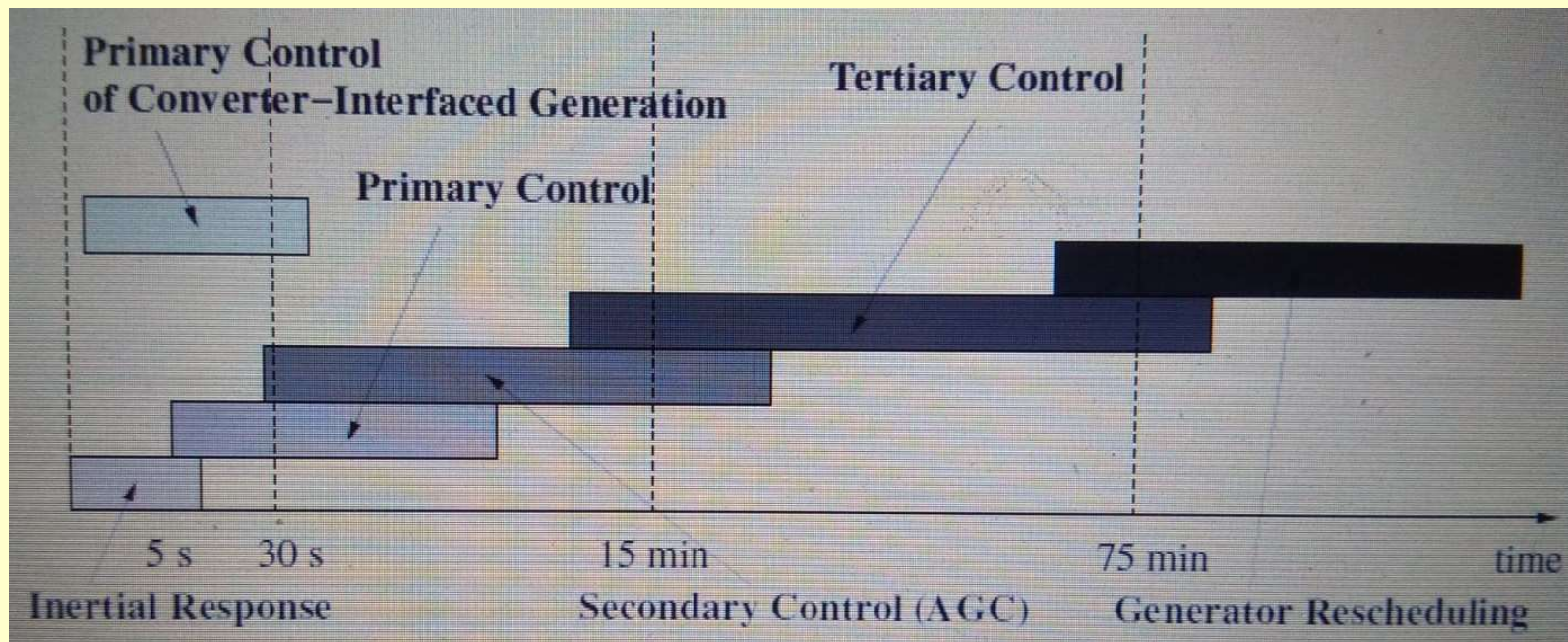
כל חוסר איזון בין ייצור (הספק מכאני) לבין צריכה (הספק חשמלי) גורם לתופעת מעבר בה מהירויות הרוטורים עוברות תהליכים תנודתיים, עקב מומנטי האצה ובלימה.

כאשר הפרשי המומנטים (מכאני ואלקטרומגנטי) גדולים מדי, עלול רוטור של גנרטור אחד (או יותר) לעבור את הקוטב הסטטורי **(Out of Step)**.

משואת התנודות

$$\frac{dW_{kin}}{dt} + P_{damp} + P_G = P_T \text{ MW}$$

$$\frac{dW_{kin}}{dt} \frac{1}{S_n} + \frac{P_{damp}}{S_n} + \frac{P_G}{S_n} = \frac{P_T}{S_n} \text{ p.u.}$$



שינויי התדירות

קבוע האינרציה:

$$H = \frac{W_{kin}^0}{S_n} = \frac{(J_{Tur} + J_{Gen}) \omega_0^2 / 2}{S_n} \quad \frac{\text{MWs}}{\text{MVA}}$$

$$M \frac{d^2 \delta}{dt^2} + P_{damp} + P_G = P_T \quad \text{על סמך משוואת התנודות:}$$

P_{damp} ובהזנחת

$$\frac{H}{\pi f^0} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_T^0 - P_G = P_{acc}$$

שינויי התדירות

מכפילים את שני צידי המשוואה ב- $d\delta / dt$:

$$\frac{H}{\pi f^0} \frac{d^2 \delta}{dt^2} \frac{d\delta}{dt} = (p_T^0 - p_G) \frac{d\delta}{dt} \Rightarrow \frac{H}{2\pi f^0} \frac{d\left(\frac{d\delta}{dt}\right)^2}{dt} = (p_T^0 - p_G) \frac{d\delta}{dt} \Rightarrow$$

$$d\left(\frac{d\delta}{dt}\right)^2 = \frac{p_T^0 - p_G}{H / 2\pi f^0} d\delta \Rightarrow \left(\frac{d\delta}{dt}\right)^2 = \int_{\delta_0}^{\delta} \frac{p_T^0 - p_G}{H / 2\pi f^0} d\delta \Rightarrow$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \sqrt{\int_{\delta_0}^{\delta} \frac{2 \times (p_T^0 - p_G)}{H / \pi f^0} d\delta}$$

שינויי התדירות

$$\frac{d\delta}{dt} = \sqrt{\int_{\delta_0}^{\delta} \frac{2 \times (p_T^0 - p_G)}{H / \pi f^0} d\delta}$$

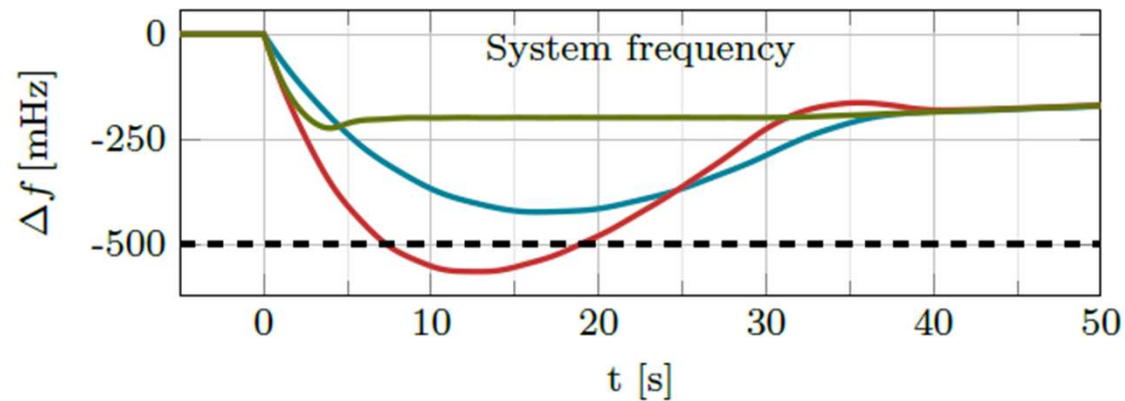


Fig. 5. Dynamic response of the Continental European area power system to faults (8).

Blue: high inertia ($H = 6$ s), i.e. no wind&PV power feed-in share, nominal frequency control reserve.

Red: low inertia ($H = 3$ s), i.e. 50% wind&PV power feed-in share, nominal frequency control reserve.

Green: low inertia ($H = 3$ s), fast control reserves.

מה ניתן לשפר כדי לאפשר קליטת מערכות ייצור בעלות קבוע אינרציה נמוך (או אפס)?

