

Primär- und Sekundärregelung eines Verbundnetzes

Abbildung 4 zeigt ein Verbundnetz, bestehend aus drei Netzen. Die Last im Netz 3 ist frequenzabhängig. Netz 3 kann über den Schalter S1 zum Verbund hinzu geschaltet werden. In Netz 3 sind Generatoren mit einer Gesamtleistungszahl von 200 MW/Hz in Betrieb. Im Folgenden soll die Primär- und die Sekundärregelung des Netzverbundes untersucht werden.

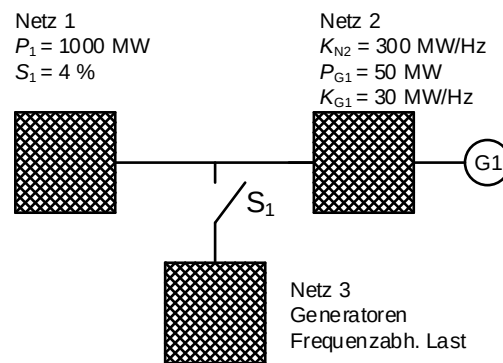


Abbildung 4. Verbundnetz aus drei Netzen

- Berechnen Sie die Leistungszahl des Netzes 1 und zeichnen Sie die Kennlinie der Primärregelung.
- Der eingezeichnete Generator in Netz 2 fällt aus. Welche neue Frequenz stellt sich dadurch im Verbundnetz ein? Schalter S1 ist nicht geschlossen.
- Welches Netz liefert nun welchen Anteil an der erbrachten Primärregelleistung?
- Wie stellen sich nun die Leistungsflüsse zwischen den beiden Netzen N1 und N2 dar?

Es herrscht nun wieder Normalbetrieb, Generator 1 ist wieder am Netz und die Frequenz beträgt wieder 50 Hz. Netz 3 ist über Schalter S1 mit dem Netzverbund verbunden. Generator G1 fällt erneut aus. Die Frequenz wird von der Primärregelung auf 49,95 Hz stabilisiert.

- Welchen Beitrag liefern die frequenzabhängigen Lasten zur Netzregelung? Wie groß ist deren Leistungszahl D ?
- Welchen Sollwert müssen die Sekundärregler der einzelnen Netze zugewiesen bekommen, wenn nach dem Generatorausfall die ursprünglichen Leistungsflüsse unverändert wiederhergestellt werden sollen?

Musterlösung EÜN

Netzregelung

Beiblatt 4:

a) Die Leistungszahl von Netz 1 kann aus der Statik berechnet werden:

$$\begin{aligned} K_{N1} &= V_{R1} \cdot \frac{P_{1,0}}{f_0}, \text{ mit } S = -\frac{1}{V_R} \\ &= -\frac{1}{S_1} \cdot \frac{P_{1,0}}{f_0} \\ &= 500 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}} \end{aligned}$$

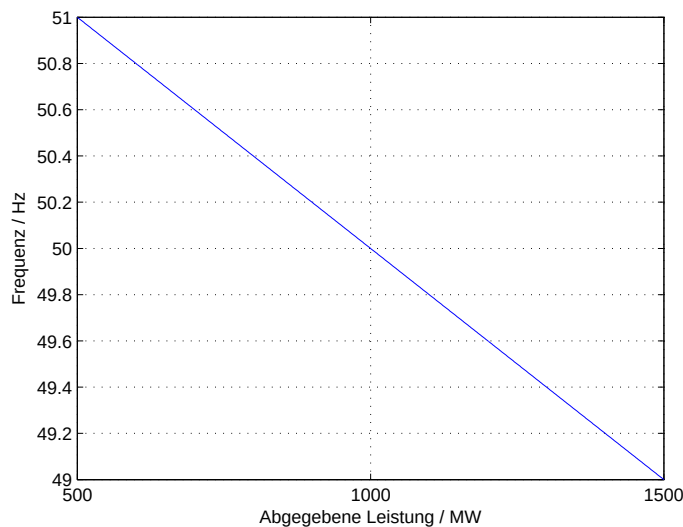


Abb. 4.1: $f(P)$ -Kennlinie von Netz 1

b) Generell gilt für Frequenzänderungen unter Beteiligung der Primärregelung:

$$\Delta f = -\frac{\Delta P}{K_{\text{Ges}}}$$

Dabei zählt ΔP positiv wenn sich die Last erhöht, respektive die Erzeugung verringert und umgekehrt. K_{Ges} ist die tatsächlich wirksame Gesamtleistungszahl aller angeschlossenen und funktionsfähigen Netze, Generatoren und Lasten. Lasten und Generatoren die durch einen Ausfall nicht mehr am Netz sind, dürfen für die Primärregelung nicht mehr berücksichtigt werden.

Hier gilt $\Delta P = +50 \text{ MW}$. Der Generatorausfall wirkt wie eine Lasterhöhung, daher hat ΔP ein positives Vorzeichen. Für K_{Ges} gilt:

$$\begin{aligned} K_{\text{Ges}} &= K_{N1} + K_{N2} - K_{G1} \\ &= 500 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}} + 300 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}} - 30 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}} = 770 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}} \end{aligned}$$

Die Leistungszahl von Netz 2, K_{N2} , schließt den Generator G1 schon mit ein. Fällt dieser aus, so muss seine Leistungszahl von der des Netzes abgezogen werden.

Daraus folgt für die Frequenzänderung:

$$\Delta f = -\frac{50 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}}{770 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}} = -0,065 \text{ Hz}$$

Es stellt sich damit die neue Frequenz $f_1 = f_0 + \Delta f = 50 \text{ Hz} - 0,065 \text{ Hz} = 49,935 \text{ Hz}$ ein.

- c) Für die Berechnung des jeweilig erbrachten Anteils muss die Leistungszahl jedes Netzes mit der Frequenzänderung multipliziert werden. Es gilt die Annahme, dass diese Frequenzänderung in jedem Netz gleichzeitig wirksam ist.

$$\Delta P_{N1} = -\Delta f \cdot K_{N1} = -0,065 \text{ Hz} \cdot 500 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}} = 32,5 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{N2} = -\Delta f \cdot (K_{N2} - K_{G1}) = -0,065 \text{ Hz} \cdot \left(300 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}} - 30 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}\right) = 17,55 \text{ MW}$$

Die Summe aller ΔP_i muss immer gleich der Leistungsänderung ΔP sein. Kleinere Abweichungen können auf Rundungsfehler zurückgeführt werden.

- d) Aus den Leistungsänderungen kann direkt geschlossen werden, dass Netz 1 ΔP_{N1} zusätzlich in Netz 2 einspeist, da die zusätzlich erzeugte Leistung in Netz 1 nicht benötigt wird. Es stellt sich also nun ein Leistungsfluss dar, der 32,5 MW mehr von Netz 1 nach Netz 2 überträgt. War der Leistungsfluss vorher schon von Netz 1 nach Netz 2 gerichtet, so erhöht er sich entsprechend. War er entgegengesetzt, so vermindert sich die von Netz 2 nach Netz 1 übertragene Leistung um 32,5 MW, da diese Leistung jetzt in Netz 2 gebraucht wird.
- e) Im Prinzip läuft die Berechnung hier genau umgekehrt wie in Aufgabenteil b). Δf und ΔP sind bekannt. Daher kann K_{Ges} berechnet werden, woraus wiederum die Größe D der frequenzabhängigen Last bestimmt werden kann, da sie genau wie eine zusätzliche Leistungszahl eines Generators wirkt. Zu beachten ist wiederum, dass Generator 1 ausgefallen ist und sich die Leistungszahl von Netz 2 daher um dessen Anteil vermindert.

$$K_{\text{Ges}} = -\frac{\Delta P}{\Delta f} = -\frac{+50 \text{ MW}}{-0,05 \text{ Hz}} = 1000 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}$$

$$= K_{N1} + K_{N2} - K_{G1} + \sum_{i \in \text{Netz 3}} K_{G,i} + D$$

$$D = K_{\text{Ges}} - K_{N1} - K_{N2} + K_{G1} - \sum_{i \in \text{Netz 3}} K_{G,i}$$

$$= (1000 - 500 - 300 + 30 - 200) \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}$$

$$= 30 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}$$

Beitrag der frequenzabhängigen Lasten:

$$\Delta P_{\text{Last}} = -D \cdot \Delta f = -30 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}} \cdot (-0,05 \text{ Hz}) = 1,5 \text{ MW}$$

- f) Die Sekundärregelung hat zwei Aufgaben:

- Rückführung von f auf f_0 .
- Rückführung der Leistungsflüsse zwischen gekoppelten Netzen auf ihren Sollwert vor Beginn der Störung.

Hier gilt analog zur Berechnung in c):

$$\Delta P_{N1} = -\Delta f \cdot K_{N1} = -0,05 \text{ Hz} \cdot 500 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}} = 25 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{N2} = -\Delta f \cdot (K_{N2} - K_{G1}) = -0,05 \text{ Hz} \cdot \left(300 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}} - 30 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}\right) = 13,5 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{N3} = -\Delta f \cdot \left(\sum_{i \in \text{Netz 3}} K_{G,i} + D\right) = -0,05 \text{ Hz} \cdot \left(200 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}} + 30 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}\right) = 11,5 \text{ MW}$$

Damit überträgt Netz 1 25 MW und Netz 3 11,5 MW zuviel nach Netz 2. Die Sollwerte der drei Sekundärregler lauten daher:

$$SR_{N1} = 0 \text{ MW}$$

$$SR_{N2} = (25 + 11,5 + 13,5) \text{ MW} = 50 \text{ MW}$$

$$SR_{N3} = 0 \text{ MW}$$

Der Sekundärregler von Netz 2 übernimmt die volle Leistungsdifferenz. Dadurch gehen die zusätzlichen Leistungsflüsse auf Null zurück und die Frequenz erreicht wieder 50 Hz. Die durch den Generatorausfall in Netz 2 aufgetretene Leistungsdifferenz wird durch die Sekundärregelung von teilnehmenden Kraftwerken direkt in Netz 2 abgerufen.