# Die Anpassung der Dimensionierung der Synchronmaschine an die Betriebsbedingungen

Autor(en): **Noser, R.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **56 (1965)**

Heft 11

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-916369

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

**Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

# Die Anpassung der Dimensionierung der Synchronmaschine an die Betriebsbedingungen

621.313.32.004.2

Kurzvortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 11. November 1964 in Zürich, von *R. Noser*, Baden

Die Aufgaben, die einem Pumpspeicherwerk zugeordnet werden, können sehr verschieden sein. Die Konzeption, Dimensionierung und Konstruktion der elektrischen Maschine muss dem vorgesehenen Verwendungszweck angepasst werden, um die wirtschaftlichste Maschine zu erhalten. Die elektrische Maschine wird deshalb verschieden sein, je nachdem

— ob es sich um eine Anlage mit Jahresspeicher im Saisonbetrieb oder um eine Anlage mit Tagesspeicher handelt,
— ob die Maschine während der Betriebszeit praktisch dauernd mit Vollast betrieben wird, oder ob sie als Regelsatz für die Frequenzleistungs-Regelung oder sogar zeitweise als drehende Reserve eingesetzt wird,
— ob sie für die Netzspannungsregelung mit zeitweisem, reinem Phasenschieberbetrieb eingesetzt wird oder nicht.

Eine grosse Rolle für die Gesamtauslegung, besonders bei Kraftwerken mit Pumpturbinen mit verschiedenem Drehsinn, spielt auch die Zeit, innerhalb welcher die Umschaltung vom Generatorbetrieb auf Motorbetrieb gefordert wird.

Den verschiedenen Bedingungen kann sich der Konstrukteur weitgehend anpassen. Er muss aber dazu die nötigen Informationen bei der Stellung der Offerte erhalten. Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet ist für den Konstrukteur die wichtigste Angabe die Bewertung der Verluste und Reaktanzen, d. h. derjenige Betrag, den der Kunde für eine Maschine pro eingespartes Verlust-kW oder pro Prozent der Veränderung der Reaktanz zu bezahlen gewillt ist. Bei Werken, die öfters einen Teillastbetrieb haben, sollte die Verlustbewertung aufgetrennt werden in eine Bewertung der Leerlaufverluste und eine Bewertung der Lastverluste.

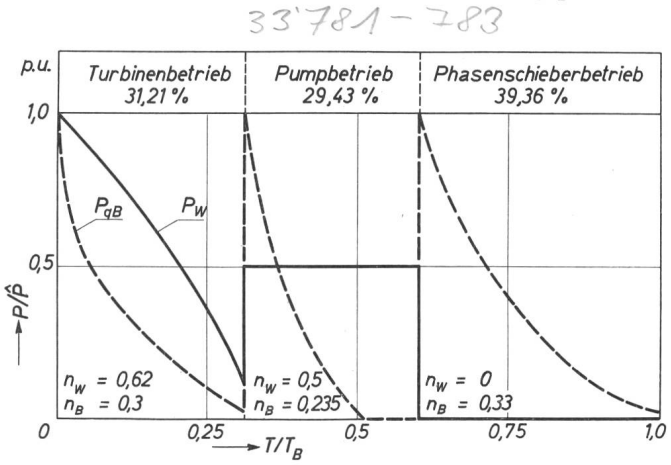


Fig. 1
**Jahresdauerkurve einer Pumpspeichergruppe**
(Schluchsee-Werk AG, Kraftwerk Waldshut)
44 MVA, $\cos\varphi$ = 0,8, 250 U./min
$\hat{P}$ = 40 MW; $\hat{P}_{qB}$ = 30 Mvar; $P$ Leistung; $P_W$ Wirkleistung; $P_{qB}$ Blindleistung; $n_W$ mittlere Wirkleistung; $n_B$ mittlere Blindleistung; $T$ Betriebsdauer; $T_B$ totale Betriebsdauer im Berichtsjahr (7950 h)

Die Grundlage zur Festlegung der Verlustbewertung ist die Jahresdauerkurve. Fig. 1 zeigt als Beispiel die Jahresdauerkurve einer Pumpspeichergruppe mit getrennter Turbine und Pumpe, mit einer Leistung von 44 MVA und 250 U./min. Von der totalen Betriebsdauer im Berichtsjahr von 7950 h entfallen 31,21 % auf Turbinenbetrieb, 29,43 % auf Pumpbetrieb und 39,36 % aus Phasenschieberbetrieb. Die in jedem entsprechenden Bereich eingetragenen Kurven zeigen den prozentualen Anteil der Höhe der Belastung, getrennt nach Wirk- und Blindleistung. Die Integration dieser Kurven ergibt eine mittlere Belastung der Maschine im Turbinenbetrieb von 62 %, im Pumpbetrieb von 50 % und im Phasenschieberbetrieb von 33 %. Dieses Diagramm ist somit charakteristisch für einen Einsatz der Maschine im Regelbetrieb. Bei Maschinen, die in einem solchen Einsatz stehen, ist der Teillastwirkungsgrad besonders wichtig. Die Bewertung der Leerlaufverluste wird in diesen Fällen gegenüber der Bewertung der Lastverluste relativ hoch sein.

Im folgenden soll an Hand eines Beispiels gezeigt werden, wie weit der Konstrukteur imstande ist, sich den Gegebenheiten anzupassen. Die Variationsmöglichkeit in diesem Beispiel wird besonders gross sein, da dabei nicht nur die Dimen-

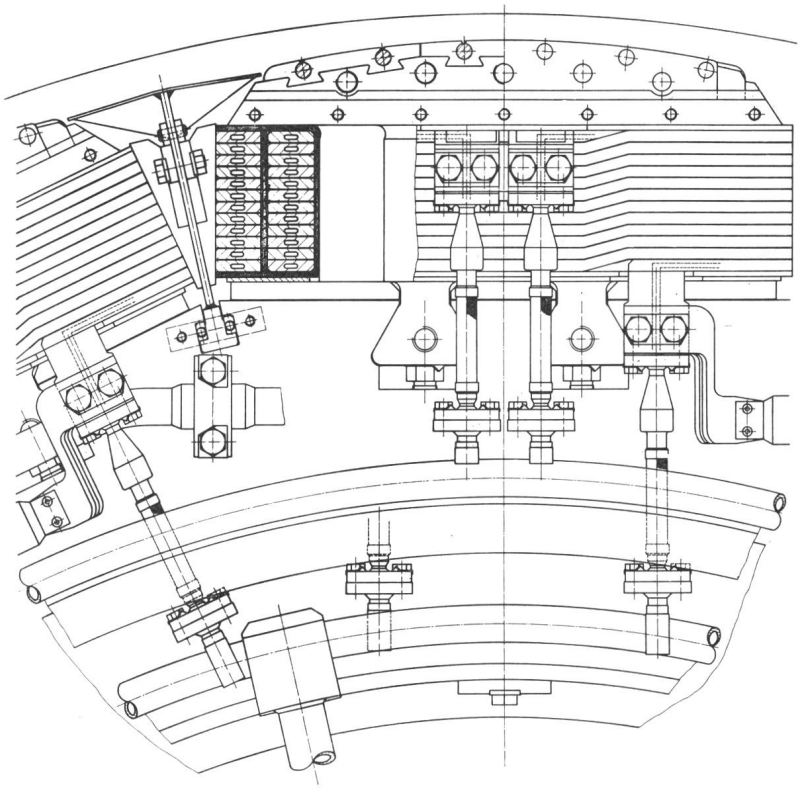

Fig. 2
**Schenkelpole mit wassergekühlter Feldwicklung**

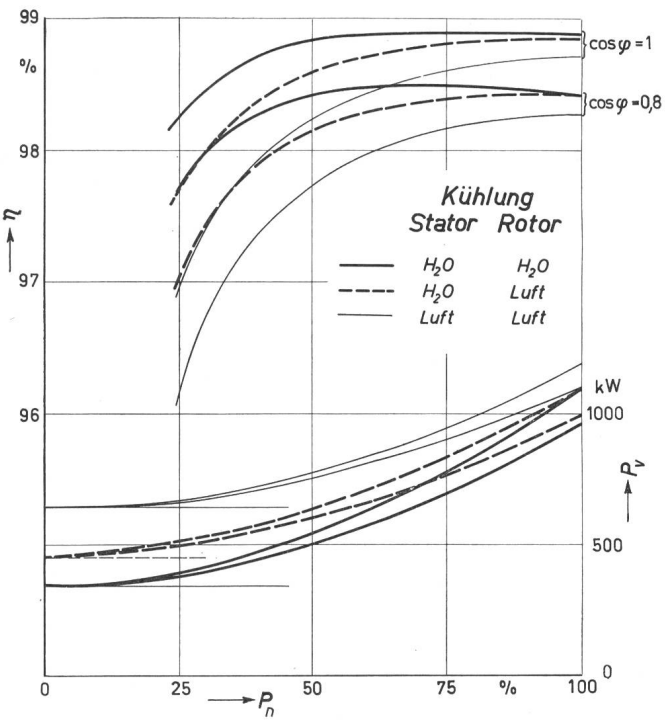


Fig. 3

**Wirkungsgrade $\eta$ und Verluste der Synchron-Generatoren, 86 MVA, 428,5 U./min, bei verschiedenen Kühlungskonzeptionen**

$P_n$ Scheinleistung bezogen auf die Nennleistung; $P_v$ Verlustleistung

sionierung geändert wird, sondern auch die Grundkonzeption der Maschine.

Als Beispiel sei hier ein Synchron-Generator mit einer Leistung von 86 MVA und 428 U./min, der sich momentan in Bau befindet, erwähnt. Man kann nun für diese Leistungsdaten drei verschiedene Konzeptionen vergleichen:

a) Die Kühlung der Maschine erfolgt konventionell mit Luft. Zwei Ventilatoren fördern die Kühlluft von beiden Seiten aus axial durch den Rotor und radial durch die Ventilationsschlitze im Stator.

b) Der Rotor wird weiterhin wie in Variante a) mit Luft gekühlt, der Stator jedoch direkt mit Wasser. Dies bedeutet, dass in den Roebelstäben Hohlleiter eingestreut sind, durch welche das Kühlwasser fliesst. Das Statoreisen wird durch eingebettete, wasserdurchflossene Rohre gekühlt. Die Pressplattenverluste werden ebenfalls durch einen separaten Wasserkreislauf abgeführt.

c) Nicht nur der gesamte Stator, sondern auch die Rotorwicklung wird direkt mit Wasser gekühlt. Ein stark reduzierter Luftstrom dient zur Abführung der restlichen, mit dem Wasser nicht direkt erfassten Verluste. Es betrifft dies die Luftreibungsverluste, Polschuhoberflächenverluste und Verluste, die durch das Stirnraumfeld entstehen.

Fig. 2 zeigt zur Verdeutlichung einen Schnitt durch das Polrad der vollständig wassergekühlten Maschine, gemäss Konzeption c). Das Rotorkupfer ist hohl und wasserdurchflossen. Die Pollücke ist abgedeckt, um der Luft einen angenähert glatten Zylinder vorzutäuschen und damit die Luftreibungsverluste zu senken.

In Fig. 3 sind der Verlauf des Wirkungsgrades und die Grösse der Verluste der verschiedenen Konzeptionen bei $\cos\varphi = 1$ und 0,8 dargestellt. Beim Vergleich der Verlustkurven ist der grosse Unterschied in den Leerlaufverlusten besonders auffällig. Dieser ist im wesentlichen dadurch bedingt, dass die Luft zwar ein sehr billiges, aber auch ein schlechtes Kühlmedium ist. Seine Wärmekapazität ist klein und die benötigte Förderleistung, um bei der gegebenen Erwärmung eine bestimmte Verlustleistung abzuführen, ist gross. Die benötigte Förderleistung, um das Kühlwasser für die direkte Kühlung durch die Maschine zu schicken, beträgt nur einige Prozente von derjenigen, die man für die Förderung der Luft aufwenden muss. Durch die vorher schon erwähnte Abdeckung der Pollücken werden auch die Luftreibungsverluste stark vermindert. Die Dimensionierung der Varianten b) und c) wurde so gewählt, dass sich deren Wirkungsgrade im Vollastpunkt demjenigen der vollständig luftgekühlten Variante a) nähern. Im Vollastpunkt ist somit der Anteil an lastabhängigen Verlusten bei den Varianten b) und c) grösser. Die Wirkungsgradkurve durchläuft daher ein Maximum, das für die vollständig wassergekühlte Maschine mit $\cos\varphi = 0{,}8$ bei etwa 65 % der Nennleistung liegt. Der Wirkungsgrad erreicht hohe Werte, z. B. bei $\cos\varphi = 1$ beträgt er 98,9 %. Der Wirkungsgrad der nur im Stator flüssigkeitsgekühlten Maschine nach Variante b) verläuft zwischen denjenigen der beiden anderen Maschinen, da die Kühlluft für den Rotor umgewälzt werden muss.

Für die Dimensionierung der total wassergekühlten Maschine spielt die Erwärmung und damit die Grenztemperatur praktisch keine Rolle mehr, da die Temperaturen der aktiven Teile weit unter den zulässigen Grenzen liegen. Man ist daher bei dieser Variante weitgehend frei, den Wirkungsgradverlauf den Betriebsbedingungen anzupassen. Wie diese Maschine dimensioniert werden soll ist daher nur eine Frage der Verlustbewertung des geforderten Schwungmomentes und der Reaktanzen.

**Adresse des Autors:**
*R. Noser,* dipl. Ingenieur ETH, AG Brown, Boveri & Cie, 5400 Baden.

# Diskussionsbeiträge

**zu den an der Diskussionsversammlung des SEV vom 11. November 1964 gehaltenen Vorträgen**

**H. Billeter,** dipl. Ingenieur, Elektro-Watt AG, Zürich: Wie aus dem Referat von Dr. *R. Galli* [1]) hervorgeht, kommt den Anlagekosten von Pumpspeicherwerken im Hinblick auf einen möglichst günstigen Spitzenenergiepreis entscheidende Bedeutung zu. Der Zweck dieses kurzen Beitrages ist, die für die Anlagekosten von Pumpspeicheranlagen massgebenden Faktoren und deren relative Wichtigkeit zu beleuchten.

Neben den topographischen und geologischen Verhältnissen sind das Bruttogefälle, die Länge der Verbindungsleitungen zwischen Ober- und Unterwasser und die Art der Maschinengruppen für die Anlagekosten bestimmend. Die beiden letzten Faktoren sind dabei direkt auch von der Fallhöhe abhängig.

In Tabelle I, die für schweizerische Verhältnisse und Anlagen mit 200...300 MW totaler Turbinenleistung ausgearbeitet wurde, sind die spezifischen Anlagekosten von Pumpspeicherwerken in Funktion des Bruttogefälles und der Druckleitungslänge zusammengestellt.

*Spezifische Anlagekosten von Pumpspeicherwerken*

**Tabelle I**

| Bruttogefälle | Spezifische Anlagekosten (Preisbasis 1964) in Fr./kW installierte Turbinenleistung bei einer Druckleitungslänge von | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| m | 0,25 km | 0,5 km | 1,0 km | 2,0 km | 4,0 km |
| 250 | 650...900 | 700...900 | 700...950 | 750...1050 | 900...1200 |
| 500 | — | 500...650 | 500...700 | 550... 750 | 650... 900 |
| 750 | — | — | 600...800 | 650... 850 | 750...1000 |
| 1000 | — | — | 600...800 | 600... 850 | 700... 950 |

[1]) Siehe Bull. SEV 56(1965)3, S. 91...101.