

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 45 (1954)
Heft: 16

Artikel: Verhalten der Synchronmaschinen bei Störungen der Stabilität
Autor: Laible, Th.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061190>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Überschreitet die Berührungsspannung U_b die Grenze von 50 V nicht, so können die Sicherungen beliebig gewählt werden, soweit dies die Grösse des Transformators und die vorgeschalteten Hochspannungssicherungen gestatten.

Oft kann durch Verbesserung der Erdungsverhältnisse am äussersten Punkt der Leitung eine Überschreitung der zulässigen Spannung von 50 V

bei einem Kurzschluss Polleiter—Nulleiter vermieden werden.

Zahlreiche Vergleichsmessungen haben ergeben, dass die hier dargelegte Methode dieselben Messresultate ergibt, wie die früher beschriebene Methode mit Kondensator.

Adresse des Autors:

W. Keller, Elektrotechniker, Höhweg 3, Biel.

Verhalten der Synchronmaschinen bei Störungen der Stabilität

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 25. März 1954 in Zürich,
von Th. Laible, Zürich

621.3.016.35:621.313.32

An einem Beispiel wird der Verlauf der wichtigsten Grössen einer Synchronmaschine während einer Störung gezeigt. Die verschiedenen Anteile des Drehmoments werden erklärt und die Möglichkeiten zu ihrer Beeinflussung erörtert.

Un exemple montre la tenue des grandeurs les plus importantes d'une machine synchrone lors d'une perturbation. Les différents composants du couple sont expliqués et les possibilités de les influencer sont discutées.

Einleitung

Um einen Einblick in das Verhalten der Synchronmaschinen zu bekommen, wollen wir einige Kurven betrachten, die für einen konkreten Fall den Verlauf der wichtigsten Grössen darstellen. Der Übersichtlichkeit halber wurde ein verhältnismässig einfaches Beispiel gewählt.

Ein Kraftwerk mit 400 MVA installierter Maschinenleistung arbeite über eine 250 km lange Doppelleitung auf ein grosses Netz. Die Übertragungsspannung soll 220 kV betragen und die natürliche Leistung der Doppelleitung 264 MW. Die Ge-

neratoren sollen mässige Reaktanzen ($X_d = 0,94$; $X_q = 0,66$; $X_d' = 0,37$; $X_d'' = X_q'' = 0,23$) haben und ein ziemlich kleines Trägheitsmoment ($H = 2,5$ kWs/kVA). Sie seien mit besonders raschen Erregern (Erregungsgeschwindigkeit 3,5) und Stösserregung, sowie mit einer kräftigen kompletten Dämpferwicklung ausgerüstet.

In Kraftwerknahe trete auf einer der beiden Leitungen ein zweipoliger Erdschluss auf. Nach 0,15 s wird die betroffene Leitung an beiden Enden allpolig abgeschaltet und nach einer Pause von 0,30 s wiedereingeschaltet.

Bewegung des Generators während der Störung

In Fig. 1 ist die Bewegung eines Polrades während der Störung dargestellt. Die oberen Kurven zeigen den zeitlichen Verlauf des Polradwinkels ϑ , d. h. des elektrischen Winkels zwischen der Polachse eines Generators und der festen Spannung U des grossen Netzes. Die unteren Kurven zeigen die Änderungsgeschwindigkeit des Winkels, d. h. den Schlupf s . Dieser ist hier, im Gegensatz zu dem beim Induktionsmotor Üblichen, für übersynchrone Drehzahlen positiv gezählt. Die Kurven a gelten für eine übertragene Leistung von 297 MW, bei der die Anlage gerade noch stabil ist; die Kurven b hingegen für die bereits etwas über der Stabilitätsgrenze liegende Leistung von 314 MW. Die genaue Stabilitätsgrenze liegt knapp unter 310 MW.

Leistungsverlauf

Fig. 2 zeigt die Änderung der Leistung an der Generatorwelle in Abhängigkeit vom Polradwinkel, für den stabilen (A) und für den labilen (B) Fall. Bei Eintritt der Störung fällt die elektrische Leistung des Generators auf einen kleinen Wert. Die Turbinenleistung hingegen bleibt bestehen, da während der kurzen in Frage kommenden Zeit der Turbinenregler nicht wirksam eingreifen kann. Die Maschine wird daher beschleunigt bis der Fehler abgeschaltet wird. Der Schlupf und der Polradwinkel wachsen daher. Nach der Abschaltung kann die Maschine über die noch bestehende zweite Leitung wieder Leistung abgeben. Infolge des grösseren Pol-

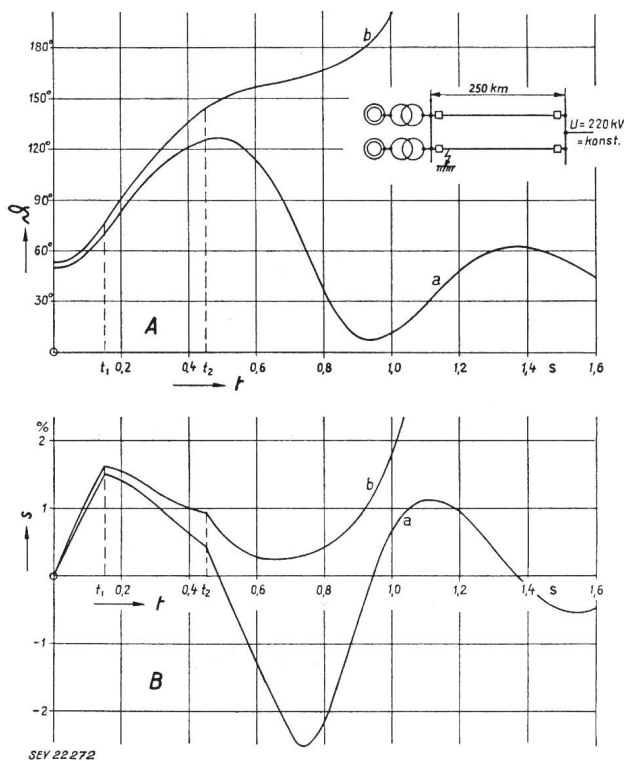


Fig. 1

Änderung des Polradwinkels (A) und des Schlupfes (B) bei zweipoligem Erdschluss

a übertragene Leistung 297 MW; b übertragene Leistung 314 MW

Die betroffene Leitung wurde im Zeitpunkt t_1 ab- und in t_2 wiedereingeschaltet

ϑ Polradwinkel; t Zeit; s Schlupf

radwinkels übersteigt diese sogar die Turbinenleistung etwas. Der Generator wird daher wieder verzögert. Der Schlupf geht zurück, der Polradwinkel wächst aber noch weiter, da die Drehzahl immer noch über der synchronen ist. Im Augenblick der Wiedereinschaltung steigt die elektrische Leistung

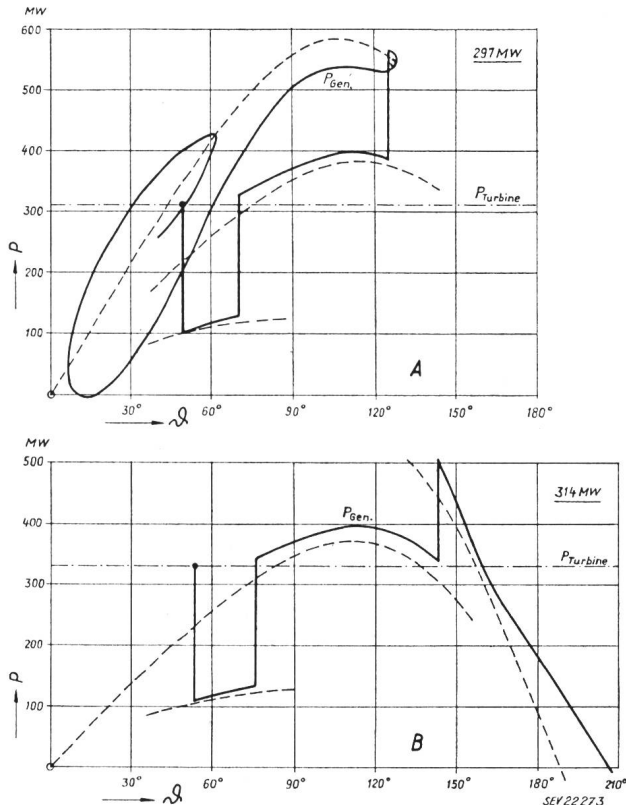


Fig. 2

Leistungsverlauf an der Welle während der Störung

A stabiler Fall; B labiler Fall

— gesamte elektrische Leistung

- - - - - synchrone Leistung

P Leistung; ϑ Polradwinkel

nochmals infolge der besseren Kopplung zwischen Netz und Generator. Im Fall der kleineren übertragenen Leistung ist dieser Überschuss gross genug, um den Generator auf die synchrone Drehzahl und sogar darunter zu bremsen. Das Polrad schwingt zurück und erreicht nach einigen stark gedämpften Schwingungen wieder die stationäre Betriebslage. Im Fall der grösseren Leistung ist das Polrad bis zum Wiedereinschalten schon zu nahe an die Oppositionsstellung herangekommen. Der Überschuss der elektrischen Leistung reicht nicht mehr, um den Synchronismus wieder zu erreichen. Der Polradwinkel wächst weiter und die Maschine fällt ausser Tritt.

Elektrische Drehmomente

Wie man aus Fig. 1 sieht, bleiben die Drehzahlabweichungen während der Störung klein. Man kann daher Fig. 2 ebensogut als Bild der Drehmomente statt der Leistungen ansehen. Das ganze Drehmoment kann man in zwei Teile aufspalten, das synchrone Drehmoment, das im Wesentlichen durch den Polradwinkel bestimmt ist, und das asynchrone Drehmoment, das vorwiegend durch den Schlupf gegeben ist. In Fig. 2 ist das synchrone Moment ge-

strichelt eingezeichnet. Die Differenz zwischen der gestrichelten und der vollen Kurve gibt das asynchrone Drehmoment. Es wirkt verzögernd solange die Drehzahl übersynchron, und beschleunigend, wenn sie untersynchron ist. Es entzieht daher der Bewegung immer Energie, wirkt also dämpfend und wird daher auch Dämpfungsmoment genannt. Nach Fig. 2 scheint sein Beitrag zwar klein zu sein. Besonders zwischen Abschaltung und Wiedereinschaltung, wo es auf den kleinen Überschuss über das Turbinenmoment ankommt, fällt es aber doch ins Gewicht. Lässt man die Dämpferwicklung weg, so sinkt die Stabilitätsgrenze in unserem Fall von 310 auf ca. 290 MW, also um ca. 7 %.

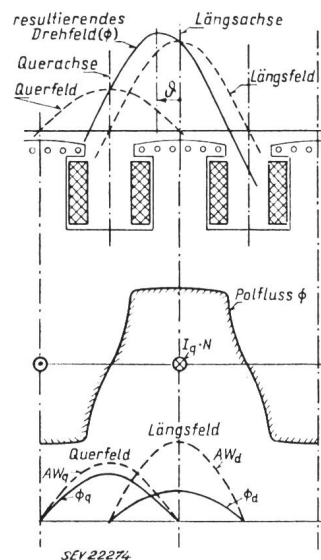


Fig. 3

Feldverteilung der Synchronmaschine

ϑ Polradwinkel; $I_q N$ Durchflutung in der Querachse; AW_d Ampèrewindungen der Längsachse; AW_q Ampèrewindungen der Querachse; ϕ_q Querfluss; ϕ_d Längsfluss

An Hand von Fig. 3 wollen wir uns auch mit dem Zustandekommen der verschiedenen Drehmomentanteile befassen. Der resultierende Fluss im Luftspalt, der von den Strömen in der Statorwicklung und vom Strom in der Feldwicklung erregt wird, hat je nach der Belastung eine gewisse Phasenverschiebung ϑ gegenüber der Polachse oder Längsachse. Diesen Winkel haben wir bereits als Polradwinkel gekennzeichnet.

Es ist zweckmässig, den resultierenden Fluss in zwei Komponenten, den Fluss in der Längsachse, kurz Längsfluss, und den Fluss in der Querachse, oder Querfluss, zu zerlegen. Diese beiden Komponenten verhalten sich entsprechend den verschiedenen magnetischen Kreisen, die die Längs- und die Querachse der Maschine darstellen, ganz verschieden.

Der Längsfluss ist mit der Feldwicklung verkettet. Diese ist über den Anker der Erregermaschine kurzgeschlossen. Jede Änderung des Längsflusses induziert in der Feldwicklung einen Strom, der sich dieser Änderung widersetzt. Daher kann sich der Hauptanteil des Längsflusses, der mit der Feldwicklung verkettet ist und den wir auch den Polradfluss nennen, nur sehr langsam ändern. Die EMK, die dieser Anteil des Längsflusses in der Statorwicklung induziert, heisst die transiente EMK E_d' . Der Rest des Längsflusses verläuft als Streufluss zwischen Stator und Feldwicklung. Ihm entspricht eine Streureaktanz X_d' des Stators, die transiente Reaktanz.

(Der Neuentwurf der Regeln für elektrische Maschinen des VDE, 0530/..54, § 9, führt dafür die Bezeichnung Übergangsreaktanz ein. Entsprechend können wir E_d' auch als Übergangs-EMK bezeichnen.)

Das Querfeld verläuft zum grössten Teil in Luft und ist mit keinen starken kurzgeschlossenen Wicklungen verkettet. Es kann sich rasch ändern. Ihm entspricht die Querreaktanz X_q . Sie ist 2...2,5mal grösser als X_d' . Einer Änderung der Querfeldampèrewindungen entspricht daher eine grössere Flussänderung, als einer Änderung der Längsfeldampèrewindungen des Stators.

Synchrones Drehmoment

Das gesamte synchrone Drehmoment wird nun gebildet durch das Zusammenwirken der Querfelddurchflutung mit dem Längsfluss und der Längsfelddurchflutung mit dem Querfluss. Den ersten Teil können wir nochmals zerlegen in das Drehmoment, gebildet aus Querdurchflutung mal Polradfluss:

$$M_c = E_d' I_q$$

und Querdurchflutung mal Streuungsanteil des Längsflusses. Diesen nehmen wir zusammen mit dem Drehmoment von Längsdurchflutung mal Querfluss zum Reluktanzmoment

$$M_r = (X_q - X_d') I_d I_q$$

Dieser Anteil verdankt seine Entstehung dem Unterschied des magnetischen Widerstandes der Längs- und Querachse und ist auch bei unerregtem Polrad vorhanden. Der erste Anteil hingegen ist massgebend von der Erregung abhängig.

Im einfachsten Fall, wo sich die Leitung genügend genau durch eine einfache Reaktanz darstellen lässt, ergibt sich die Aufteilung in den erregungsabhängigen Teil

$$M_c' = (E_d' U / X) \sin \vartheta$$

worin X die Summe von X_d' und der äusseren Reaktanz bedeutet und den erregungsunabhängigen Teil

$$M_r' = -\text{prop} \cdot \sin(2\vartheta)$$

Das gesamte synchrone Drehmoment

$$M_s = M_c' + M_r'$$

erreicht sein Maximum für einen Winkel $\vartheta > 90^\circ$ (Fig. 4).

Wir haben bis jetzt das Vorhandensein der Dämpferwicklung vernachlässigt. Tatsächlich ändert sie an den betrachteten Vorgängen auch nicht viel. Zwar induzieren die Änderungen der Flüsse in ihr ebenfalls Ströme; diese klingen aber sehr rasch ab, da die Dämpferwicklung wesentlich weniger Kupfer, also höheren Widerstand hat als die Feldwicklung. Sie sind nur für sehr rasche Flussänderungen von Bedeutung und bewirken, dass sich die Änderungen bei den Schaltvorgängen in etwa 0,1 s abspielen, statt sprunghaft, wie es der Einfachheit halber in den gezeigten Kurven dargestellt ist.

Die einzige Wirkung der Dämpferwicklung, die wir berücksichtigen, ist das Drehmoment, das die in ihr vom Drehfeld induzierten Ströme geben. In Bezug auf das Zusammenwirken von Drehfeld und

Dämpferwicklung verhält sich die Synchronmaschine ähnlich wie ein Asynchronmotor. Der Verlauf des asynchronen Drehmoments in Abhängigkeit vom Schlupf ist daher im wesentlichen der vom Asynchronmotor her bekannte (Fig. 5). Ein kleiner

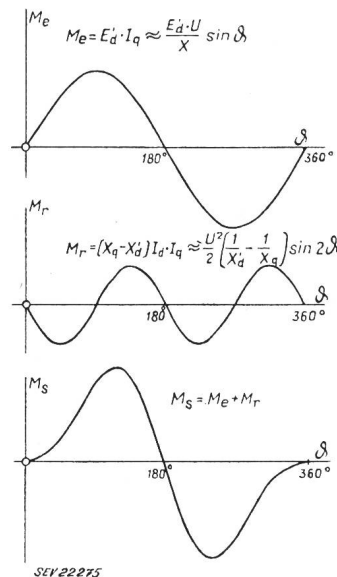


Fig. 4
Synchrone Momente
Bezeichnungen siehe
im Text

Unterschied besteht darin, dass der Gipfel etwas breiter ist, da man wegen der Ungleichheit von Längs- und Querachse genau genommen die Überlagerung der Charakteristiken zweier Asynchronmotoren mit etwas verschiedenem Kippschlupf bekommt.

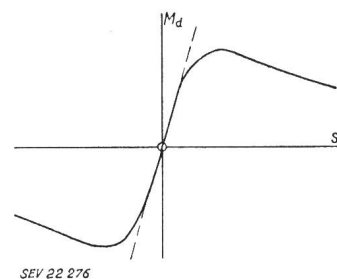


Fig. 5
Asynchrones Moment
(Dämpfungsmoment)
Bezeichnungen siehe
im Text

Für die Stabilität ist vor allem das Drehmoment bei kleinem Schlupf interessant. Dort ist es ziemlich genau dem Schlupf proportional

$$M_D = C_D s$$

Es ist dann gekennzeichnet durch die Dämpfungskonstante C_D . Zu dieser gibt auch die Turbine einen kleinen Beitrag. Bei fester Stellung von Leit- und Laufschaufeln, bzw. der Düsennadel, fällt das Turbinenmoment mit wachsender Drehzahl. Dem entspricht ein Beitrag zu C_D , der etwa zwischen 1,1 (Pelton turbine) und 0,6 (Kaplan turbine) liegt. In der gleichen Grössenordnung ist auch der minimale Beitrag einer Synchronmaschine mit lamellierten Polen ohne Dämpferwicklung infolge der Wirbelströme in den Polendplatten und Wicklungsabstützungen.

Möglichkeiten der Beeinflussung von Drehmomenten

Nachdem wir die einzelnen Beiträge hinsichtlich ihrer Entstehung kennen, kann man über die Möglichkeiten ihrer Beeinflussung diskutieren.

a) *Einfluss der Maschinenreaktanzen.* Ein nahe-
liegendes Mittel, das für alle Anteile des Drehmo-
ments in gleicher Weise wirksam ist, ist die Wahl
niedriger Reaktanzen für Maschinen für Elektrizitäts-
werke mit schwieriger Stabilität. Die Anwen-
dung dieses Mittels findet seine Grenzen darin, dass
die Senkung der Werte unter ein gewisses Mass die
Maschine stark verteuert¹⁾, und dass es nicht mehr
nützt, wenn die Leitungsreaktanz den Haupt-
anteil ausmacht. Natürlich besteht auch dort eine
Möglichkeit zur Verkleinerung durch Übergang zu
Bündelleitern und Einbau von Seriendensatoren.

Der Anteil M_r des synchronen Momentes könnte
grundsätzlich durch die Polform etwas beeinflusst
werden; doch ist diese durch andere Rücksichten
(Ausnutzung der Maschine, Kurvenform der Span-
nung) schon so weit festgelegt, dass man praktisch
keinen Spielraum mehr hat.

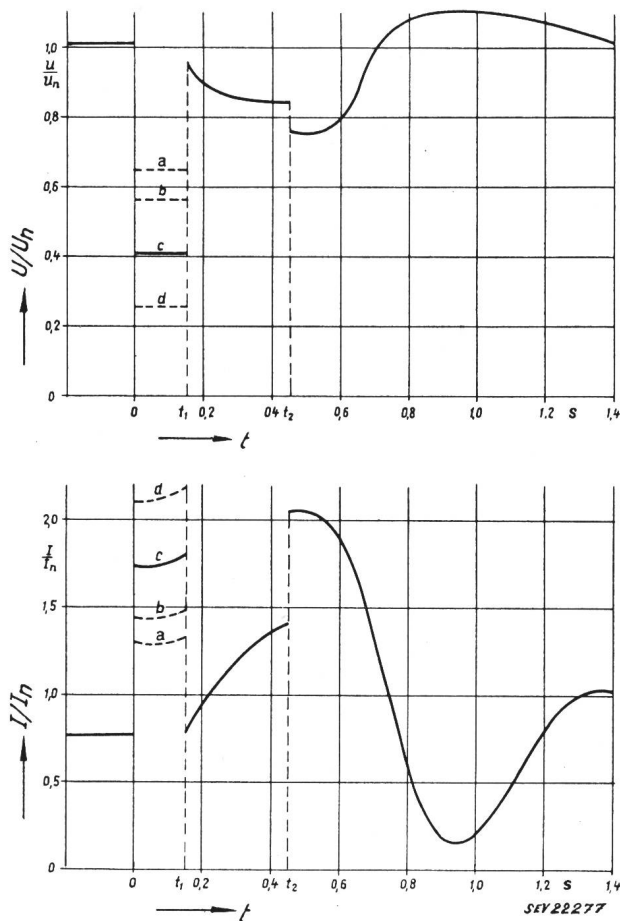


Fig. 6

Verlauf der Klemmenspannung und des Stromes eines
Generators während der Störung

U/U_n Klemmenspannung bezogen auf Nennspannung; I/I_n Ge-
neratorstrom bezogen auf Nennstrom; t Zeit
a) einpoliger Erdschluss; b) zweipoliger Kurzschluss; c) zwei-
poliger Erdschluss (ganze Kurve); d) dreipoliger Kurzschluss

b) *Einfluss der Spannungsregelung.* Beim Anteil
 M_e des synchronen Momentes kann der Faktor E_d'
durch die Erregung beeinflusst werden. Fig. 6 zeigt
den Verlauf der Klemmenspannung und des Stromes
des Generators während der Störung. Solange
der Fehler besteht, bricht die Klemmenspannung
je nach der Art des Fehlers mehr oder weniger zu-

sammen. Der Wert ist aber in jedem Fall so tief,
dass der Spannungsregler sofort in seine Endstellung
geht oder ein vorhandenes Stosserregungsrelais an-
spricht. Der Erreger selbst erhält also nach einer
kurzen Zeit, die nur durch die Schaltverzögerung
der erforderlichen Schaltelemente bestimmt ist,
seine maximal mögliche Erregung. Der Anstieg
seiner Ankerspannung ist daher nur noch durch
seine «Erregungsgeschwindigkeit» (Exciter Res-
ponse) bestimmt. Fig. 7 zeigt den Verlauf
der Erregerspannung U_f und den daraus fol-
genden Verlauf der Übergangs-EMK E_d' ein-
mal für einen Spezialerregung mit Stosserregung

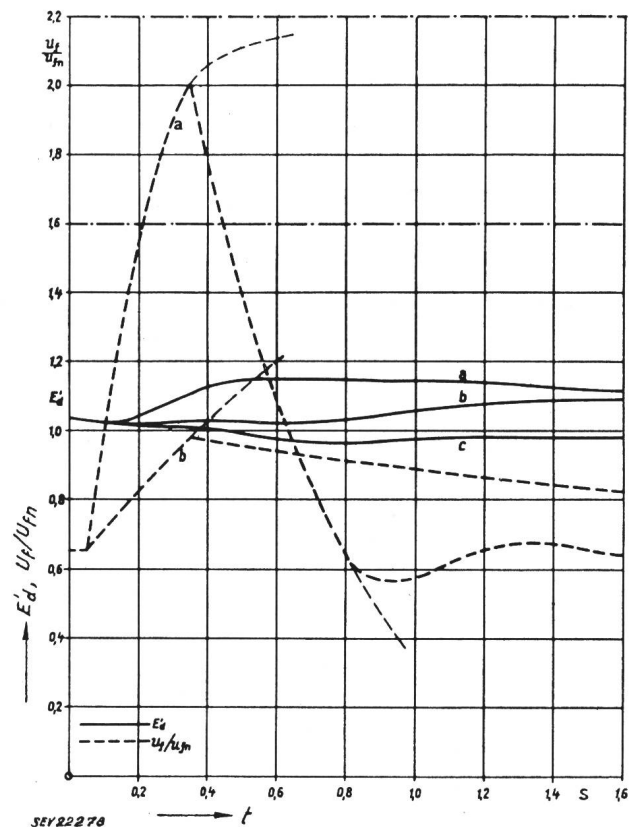


Fig. 7

Verlauf von Erregerspannung und Polradfluss

a) Stossererregung mit Spezialerregungsmaschine (Exciter Response 3,5); b) normaler Regler mit normaler Erregungsmaschine (Exciter Response 0,85); c) keine Regelung

U_f Spannung an der Feldwicklung des Generators; U_{fn} Feld-
spannung entsprechend Nennbetrieb des Generators; E_d' Über-
gangs-EMK in der Generator-Statorwicklung

Weitere Bezeichnungen siehe im Text

und der sehr hohen Erregungsgeschwindigkeit 3,5
(Kurven a), dann für einen üblichen Erreger mit
Wälzsektor-Regler (Kurven b) und schliesslich für
den Fall ganz ohne Regelung ($U_f = \text{konst.}$, Kurve
c). Die Kurven a liegen den hier gezeigten Kurven
in Fig. 1, 2, 3 und 6 zu Grunde. Für den Zusammen-
hang zwischen U_f und E_d' ist hauptsächlich die Feld-
zeitkonstante des Generators massgebend. Sie be-
trägt in unserem Beispiel 3,0 s unter Berücksichti-
gung der Sättigung im Betriebspunkt. Dieser Wert
kann als ziemlich typisch für grosse Wasserkraft-
generatoren angesehen werden.

Aus den Kurven der Abb. 7 sieht man, dass mit
sehr energischer Stossererregung eine Erhöhung von
 E_d' um etwa 10 % im für die Stabilität entschei-

¹⁾ siehe O. Hess: CIGRE 1952, Rapport 135.

den Augenblick erreicht werden kann. Bei normaler Regelung wird sie gerade etwa konstant gehalten; ganz ohne Regelung sinkt die EMK um etwa

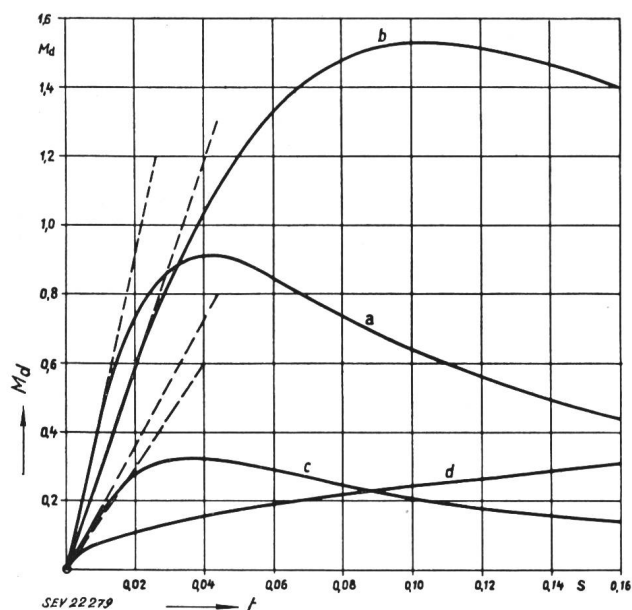


Fig. 8

Dämpfungsmomente verschiedener Bauarten

- a 40 MVA, 500 U./min, vollständige Dämpferwicklung, grosser Querschnitt, hohe Reaktanzen
 b 26 MVA, 68 U./min, vollständige Dämpferwicklung, kleiner Querschnitt, niedrigere Reaktanzen
 c 18 MVA, 500 U./min, Polgitter, grosser Querschnitt, hohe Reaktanzen
 d 37,5 MVA, 500 U./min, massive Pole, mässige Reaktanzen
 M_d Dämpfungsmoment; t Zeit

5 %. Mit einer Regelung nach *b* würde die Stabilitätsgrenze in unserm Beispiel etwa bei 295 MW liegen, gegenüber ca. 310 MW mit der Stosserregung nach *a*.

c) *Einflüsse auf das Dämpfungsmoment.* Das Dämpfungsmoment kann durch die Art und Ausführung der Dämpferwicklung in weiten Grenzen verändert werden. In Fig. 8 sind als Beispiele die Dämpfungsmomente für vier verschieden ausgeführte Maschinen dargestellt. Dämpferwicklungen geben immer eine Kurve mit ausgeprägtem Kippmoment (Kurven *a*, *b*, *c*). Dasjenige für massive Pole (*d*) steigt hingegen mit wachsendem Schlupf ständig, da mit wachsender Schlupffrequenz die Dicke der stromführenden Schicht an der Poloberfläche abnimmt und daher der Widerstand steigt. Das Kippmoment der Dämpferwicklungen ist durch die Reaktanzen bestimmt. Vom Standpunkt der Stabilität aus interessiert aber hauptsächlich die Steilheit der Anfangstangente. Diese hängt wesentlich vom Widerstand, also vom Kupferquerschnitt der Dämpferwicklung ab. Mit vollständigen Dämpferwicklungen üblicher Konstruktion erreicht man Werte von C_D von 25...50, mit Polgittern und massiven Polen von 10...20.

Damit hoffe ich, in aller Kürze einen Überblick gegeben zu haben, wie die Eigenschaften der Maschine selbst die Stabilität beeinflussen.

Adresse des Autors:

Th. Laible, dipl. Ing., Maschinenfabrik Oerlikon, Zürich 50.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

1. Bauetappe der Maggia-Kraftwerke

621.311.21 (494.55)

Die unterste Stufe dieser Kraftwerksgruppe steht mit dem Kraftwerk *Verbano* und dem Ausgleichsbecken *Palagnedra* seit dem 23. März 1953 im Betrieb. Die oberen Stufen, die Kraftwerke *Cavergno* und *Peccia* mit dem Staubecken *Sambuco* befinden sich im Bau und sollen im Juli 1955 den Betrieb aufnehmen. Im 1. Ausbau, der ein Einzugsgebiet von 713 km² erschliesst, entsteht eine Kraftwerksgruppe, die eine jährliche Produktionsmöglichkeit von rund 800 GWh¹⁾ aufweisen wird; davon fallen 45 % in das Winterhalbjahr. Der spätere Ausbau weiterer Stufen und hochgelegener Speicherbecken erlaubt die jährliche Produktionsmöglichkeit auf 1100 GWh und den Winteranteil auf 60 % zu erhöhen. Das Konzessionsprojekt ist im Bulletin SEV Bd. 40 (1949), Nr. 9, S. 229, beschrieben worden. Die 1. Bauetappe weicht von diesem in einigen Teilen ab.

Die Leitung der Maggia-Kraftwerke veranstaltete am 22./23. Juni 1954 eine mit Besichtigungen der Anlagen und Bauarbeiten verbundene Orientierung der Presse. Der Präsident der Gesellschaft, Staatsrat Dr. N. Celio, wies in der Begrüssungsansprache auf die knappe Zeit hin, die vor der Konzessionserteilung vom 10. März 1949 für die Verhandlungen mit den nachmaligen Konzessionsnehmern zur Verfügung stand. Er schilderte die grosse Bedeutung, welche der Bau dieser Kraftwerke für den Kanton hat und untermauerte sie mit folgenden runden Zahlen. Dem Kanton Tessin werden, abgesehen von den Steuern der Einzelpersonen und der einmaligen Konzessionsgebühr nach der Anlaufperiode alljährlich Einnahmen von Fr. 600 000 bis Fr. 1 000 000 aus Wasserzinsen und weitere Fr. 1 000 000 aus Steuern der Gesellschaft zufließen.

Der Lageplan Fig. 1 zeigt die Zusammenhänge der 3 Kraftwerke hinsichtlich Wasserzuleitungen, Maschinenhäuser und

Höchstspannungsleitungen, sowie die Fortleitung der Energie durch die Anlagen der Atel gegen Norden. Von Interesse sind Vergleiche zwischen denjenigen Teilen des Konzessionsprojektes, die heute ausgeführt sind und ihrer ursprünglichen Konzeption. (Tabellen I...III.)

Hauptdaten der Speicher- und Ausgleichsbecken

Tabelle I

Speicher- u. Aus- gleichs- becken	Konz.-Proj.		Ausführung		Konz.-Proj.		Ausführung	
	Speicher- u. Ausgleichsbecken				Staumauern			
	Nutz- inhalt 10 ⁶ m ³	Stauziel m ü. M.	Nutz- inhalt 10 ⁶ m ³	Stauziel m ü. M.	größte Höhe m	Ku- batur 10 ³ m ³	größte Höhe m	Ku- batur 10 ³ m ³
Sam- bucó .	40	1438	62	1460	100	425	130	770
Palag- nedra .	5,5	490	4,8	486	75	60	72	65

Mittlere jährliche Energieproduktionsmöglichkeit

Tabelle II

Werk	Konzessions-Projekt			Ausführung		
	Winter GWh	Sommer GWh	Jahr GWh	Winter GWh	Sommer GWh	Jahr GWh
Peccia	45	40	85	62	19	81
Cavergno . . .	71	120	191	107	103	210
Verbano	168	316	484	188	314	502
Total	284	476	760	357	436	793

¹⁾ 1 GWh = 10⁹ Wh = 10⁶ kWh