

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 21 (1930)
Heft: 13

Artikel: Ueber Phasenkompensation von Asynchronmotoren
Autor: Bindler, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061321>

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: 18.05.2025

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

Herausschrauben der oberhalb der Zählertafel montierten Sicherungen spannungslos gemacht zu haben. Diese Sicherungen waren aber im Stromkreise hinter dem Zähler eingebaut, so dass die Zuleitungsdrähte zum Klemmenbrett des Zählers unter Spannung blieben. Der die Drähte ergreifende Monteur wurde deshalb elektrisiert und durch den Strom getötet. Ein weiterer Unfall ereignete sich infolge einer ungeschickten Bewegung bei dem bewusst unter Spannung erfolgten Abtrennen eines Zählers; der betreffende Monteur erlitt Flammenbogenverletzungen, die eine mehrwöchige Heildauer erforderten. Durch Uebertritt von Starkstromspannung in die Sonnerieanlage eines defekten metallenen Zugleuchters, an welchem die Schwachstromleitung zum Tisch hinuntergeführt war, ereignete sich ein Unfall, der leicht schwerere Folgen nach sich hätte ziehen können. Ein Mädchen ergriff im Badesitzend die metallene Sonneriekette, wurde elektrisiert und festgehalten, bis zufälligerweise ein Dienstmädchen dazu kam und durch Entfernen der Sicherungen die Anlage spannungslos machte. Der mehrere Minuten dauernde Stromdurchgang hatte Verbrennungen an beiden Händen zur Folge. Es zeigt sich daraus die Notwendigkeit, auch in Schwachstromanlagen, wenn es sich um Badzimmer oder ähnliche Räume handelt, solche Zugketten isolierend zu unterbrechen.

Ueber Phasenkompensation von Asynchronmotoren.

Von E. Bindler, dipl. Ing.,
Assistent am Elektrotechnischen Institut der E.T.H. Zürich.

621.316.761.2 : 621.3.072.7

In diesem Aufsatz wird gezeigt, wie es möglich ist, von der Impedanz der Drehstromasynchronmaschine ausgehend, Methoden für ihre Kompensation abzuleiten. Es werden darauf einige prinzipielle Schaltungen angegeben und die Theorie der einfachsten Methode entwickelt, wobei das theoretisch abgeleitete Impedanzdiagramm durch praktische Messungen nachkontrolliert wird.

Im speziellen wird auch die Abhängigkeit zwischen der Drehzahl der Kompensatormaschine und dem Schlupf der Asynchronmaschine bei fremdangetriebenem, eigenregtem Kompensator angegeben.

L'auteur montre comment on peut déduire de l'impédance de la asynchrone triphasée des méthodes pour compenser cette impédance. Il indique ensuite quelques schémas de principe et développe la théorie de la méthode la plus simple, puis contrôle par des mesures le diagramme d'impédance déduit théoriquement.

En particulier, l'auteur indique la relation qui existe entre le glissement de la machine asynchrone et le nombre de tours de la machine compensée à auto-excitation et entraînement séparé.

Das allgemeine Verhalten der transformatorisch wirkenden Maschinen lässt sich bekanntlich sehr gut aus ihren Stromdiagrammen übersehen. Die Darstellung dieser Diagramme erfolgt vielfach analytisch, indem man die Koordinaten des Mittelpunktes und den Radius des Stromkreises bestimmt. Anhand dieser Daten lässt sich der Stromkreis konstruieren (Ossanakreis). Es ist aber auch möglich, die Konstruktion dieses Diagrammes auf dem Umwege über die Impedanzdarstellung mit Hilfe der komplexen Ebene auszuführen. Diese Methode, die physikalisch übersichtlich ist und auch genauer scheint, wird seit vielen Jahren von Prof. Dr. K. Kuhlmann in seiner Vorlesung angewendet.

Darnach lautet der Ausdruck für die Impedanz des Asynchronmotors¹⁾:

$$\mathfrak{Z}_A = \frac{\mathfrak{E}_K}{\mathfrak{I}_{S1}} = r_s + j\omega_1 L_{SS\Delta} + \frac{\omega_1^2 L_{RS\Delta} L_{SR\Delta}}{\frac{r_R}{s} + j\omega_1 L_{RR\Delta}} = Z_A e^{j\varphi} \quad (1)$$

¹⁾ K. Kuhlmann, Mitteilungen der Phys. Gesellschaft Zürich 1919, No. 19.

K. Kuhlmann, Elektro-Journal 1924, Heft 4.

(Die Ableitung dieses Impedanzdiagrammes kann auch vektoriell geschehen.)

wobei man unter

r_S Widerstand einer Statorphase

r_R Widerstand einer Rotorphase

$L_{SS\Delta}$ Drehinduktivität des Stators $\cong \frac{m_S}{2} L_{SS}$; L_{SS} = Induktivität einer Statorphase.

$L_{RR\Delta}$ Drehinduktivität des Rotors $\cong \frac{m_R}{2} L_{RR}$; L_{RR} = Induktivität einer Rotorphase.

$L_{RS\Delta}$ gegenseitige Drehinduktivität vom Rotor auf den Stator $= \frac{m_R}{2} L_{RS}$

$L_{SR\Delta}$ gegenseitige Drehinduktivität vom Stator auf den Rotor $= \frac{m_S}{2} L_{SR}$

ω_1 Kreisfrequenz des Netzes $2\pi f$.

s Schlupf des Asynchronmotors $= \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1}$

ω_2 elektr. Kreisfrequenz der Rotation

m_S, m_R Stator- bzw. Rotorphasenzahl

$\mathcal{E}_K$ Phasenspannung im Stator

$\mathfrak{I}_{S1}$ Statorstrom in Phase 1 des Asynchronmotors

$\mathfrak{Z}_A$ resultierende Impedanz des Asynchronmotors

versteht.

Im speziellen Falle des Drehstrom-Asynchronmotors ist

$$m_S = m_R = 3.$$

Diese Impedanz stellt einen Kreis dar, dessen Radiusvektor sich berechnet zu²⁾:

$$\Re_A = -j \frac{\omega_1^2 L_{SR\Delta} L_{RS\Delta}}{2 L_{RR\Delta} \omega_1} = -j \frac{X_{SR\Delta} X_{RS\Delta}}{2 X_{RR\Delta}}.$$

Die nötigen Konstanten zur Darstellung des Kreises lassen sich schon durch einen Leerlaufversuch bestimmen; bei genaueren Untersuchungen ist es natürlich notwendig, mehrere Versuche auszuführen.

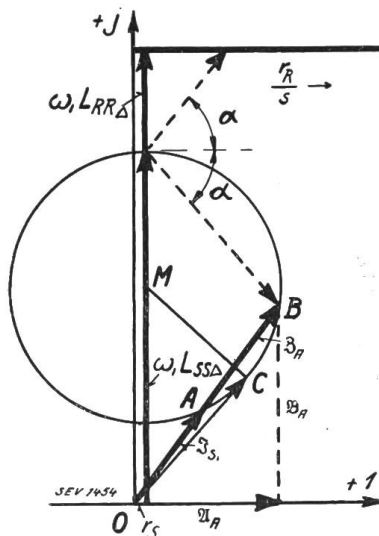


Fig. 1.

Impedanzdiagramm des Drehstromasynchronmotors.

$OA = \mathfrak{I}_{S1}$ $OB = \mathfrak{I}_A$

$OB = 1/\mathcal{E}_K$

Winkel $(\mathfrak{I}_A \mathfrak{I}_A) = \varphi$.

Aus Fig. 1 ersieht man, dass es auch ohne eine weitere Inversion möglich ist, den einer Impedanz zugehörigen Strom abzulesen.

Es berechnet sich $\mathcal{E}_{RV}$ bei dieser Schaltung (Fig. 2) zu:

$$\mathcal{E}_{RV} = \mathfrak{I}_{R1} \sqrt{3} \varepsilon^{j30} (r_R + j s \omega_1 L_{RR\Delta}) + j s \omega_1 L_{SR\Delta} \mathfrak{I}_{S1} \sqrt{3} \varepsilon^{j30}. \quad (2)$$

Im speziellen Falle des normal laufenden Asynchronmotors ist

$$\mathcal{E}_{RV} = 0.$$

Betrachtet man die Impedanz des Asynchronmotors, so

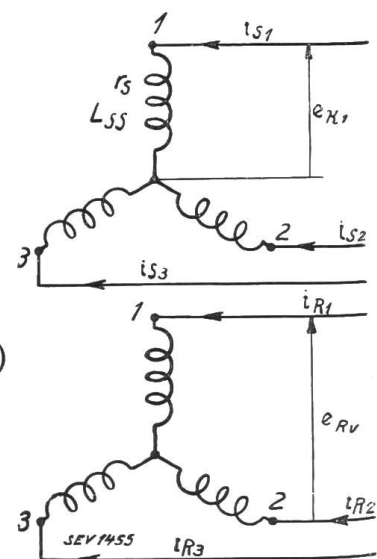


Fig. 2.

Schema des Asynchronmotors.

²⁾ Bloch, Die Ortskurven der graphischen Wechselstromtechnik.

sieht man, dass diese sich in zwei Teile, einen imaginären und einen weiteren reellen, zerlegen lässt.

$$\mathfrak{Z}_A = \Re_A + \mathfrak{B}_A = A_A + jB_A.$$

Die resultierende Impedanz hat demzufolge, solange B verschieden von 0 ist, eine Phasenverschiebung φ gegenüber der reellen Achse, somit auch gegenüber der Statorspannung. Daher bezieht die Maschine eine zusätzliche Blindleistung, die eine Funktion von φ ist und deren Grösse $J_A E_A \sin \varphi$ ist. Ein Masstab für die Grösse dieser Leistung ist durch den Vektor $\mathfrak{B}_A$ gegeben. Der erstrebenswerte Zustand ist, die Blindleistung auf ein Minimum zu reduzieren. Dies ist gleichbedeutend mit folgender Relation:

$$B_A = 0 \qquad Z_A \sin \varphi = 0. \qquad (3)$$

Nach genauerer Entwicklung dieser Formel lässt sich der physikalische Sinn der Kompensation erkennen und somit die möglichen Kompensationsschaltungen daraus ableiten. Die genauere Untersuchung dieser ist in Form einer Diplomaufgabe von HH. E. Bindler, M. Kieser und E. Maier im Oktober und November 1928 an der E. T. H. durchgeführt worden. Dieser Arbeit entnehme ich auch teilweise die jetzt folgenden Ableitungen und Ueberlegungen.

$$\begin{aligned} \mathfrak{Z}_A &= r_A + j\omega_1 L_{SS\Delta} + \frac{\omega_1^2 L_{SR\Delta} L_{RS\Delta}}{\frac{r_R}{s} + j\omega_1 L_{RR\Delta}} = \\ &= \left\{ (r_A + j\omega_1 L_{SS\Delta})(r_R^2 + s^2 \omega_1^2 L_{RR\Delta}^2) + s \omega_1^2 L_{SR\Delta} L_{RS\Delta} (r_R - j\omega_1 s L_{RR\Delta}) \right\} \frac{1}{r_R^2 + s^2 \omega_1^2 L_{RR\Delta}^2} \\ Z_A \sin \varphi &= 0 = B_A. \end{aligned}$$

$$\omega_1 L_{SS\Delta} (r_R^2 + s^2 \omega_1^2 L_{RR\Delta}^2) - \omega_1 L_{RR\Delta} s^2 \omega_1^2 L_{SR\Delta} L_{RS\Delta} = 0.$$

Führt man noch die durch Konstruktion der Maschine gegebene Definition $\frac{L_{SR\Delta}}{L_{SS\Delta}} = K$, so folgt nach einiger Umformung:

$$L_{RR\Delta}^2 - K L_{RS\Delta} L_{RR\Delta} + \left(\frac{r_R}{s \omega_1} \right)^2 = 0. \qquad (4)$$

Diese Gleichheit und somit auch die vollständige Phasenkompensation ist erreichbar:

1. durch Variation von $L_{RR\Delta}$ ausserhalb der Asynchronmaschine, um den Wert von $L_{RS\Delta}$ und $L_{SR\Delta}$ konstant zu lassen.

Die dabei bei jedem Schlupf notwendige resultierende Induktivität des Rotors berechnet sich aus Gleichung (4) und würde bei vollständiger Kompensation sein:

$$L'_{RR\Delta} = \frac{K}{2} L_{RS\Delta} \pm \sqrt{\left(\frac{K}{2} L_{RS\Delta} \right)^2 - \left(\frac{r_R}{s \omega_1} \right)^2}$$

und die zur Rotorinduktivität Zusätzliche, die wir als Induktivität des Kompensators $L_{CC\Delta}$ bezeichnen wollen, beträgt:

$$\begin{aligned} L_{CC\Delta} &= L'_{RR\Delta} - L_{RR\Delta} \\ L_{CC\Delta} &= \frac{K}{2} L_{RS\Delta} \pm \sqrt{\left(\frac{K}{2} L_{RS\Delta} \right)^2 - \left(\frac{r_R}{s \omega_1} \right)^2} - L_{RR\Delta}. \end{aligned} \qquad (5)$$

2. Durch Variation von $L_{RR\Delta}$ in der Asynchronmaschine, was aber eine variable Induktivität $L_{RS\Delta}$ und $L_{SR\Delta}$ zur Folge hat.

Durch Aenderung des Rotorwiderstandes r'_R lässt sich keine Kompensation erreichen, da der aus der Gleichung (4) berechnete Wert von

$$r'_R = s \omega_1 \sqrt{K L_{RS\Delta} L_{RR\Delta} - L_{RR\Delta}^2}$$

immer imaginär ist.

Wollen wir einfachheitshalber von der Streuung absehen, so wird für diesen Fall

$$K L_{RS\Delta} L_{RR\Delta} = \frac{L_{SR\Delta}}{L_{SS\Delta}} L_{RS\Delta} L_{RR\Delta} = L_{RR\Delta}^2$$

sein, und die Gleichung (5) schreibt sich dann

$$L_{CC\Delta} = -\frac{L_{RR\Delta}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{L_{RR\Delta}}{2}\right)^2 - \left(\frac{r_R}{s \omega_1}\right)^2}$$

d. h. der Wert von $L_{CC\Delta}$ ist immer negativ.

Praktisch entspricht einer negativen Kompensatorimpedanz eine Kapazität.

Da es aber nicht auf den Wert der Impedanz, sondern auf den der Spannung ankommt, können wir statt einer negativen Impedanz eine entsprechende EMK erzeugen; d. h. wir erzeugen im Rotorkreise der Asynchronmaschine negative Spannungsabfälle, das sind EMK', die den Spannungsabfällen entgegengesetzt wirken (Phasenopposition).

$$\mathcal{E} = -j \mathfrak{S} \omega Z.$$

Die Erzeugung einer solchen EMK ist möglich:

a) durch Erzeugung einer negativen Frequenz ω (praktische Ausführung des eigenerrigten Kompensators),

b) durch Einführung einer fremden Spannung in den Rotor der Asynchronmaschine, die gegenüber der Rotorspannung eine Phasendifferenz von 180° aufweist, d. h. negativen Strom liefern würde (Methode der Fremderregung). Dies geschieht mittels einer Kollektormaschine, die starr mit dem Asynchronmotor verbunden ist, um der Frequenzänderung bei Belastung entgegen zu wirken.

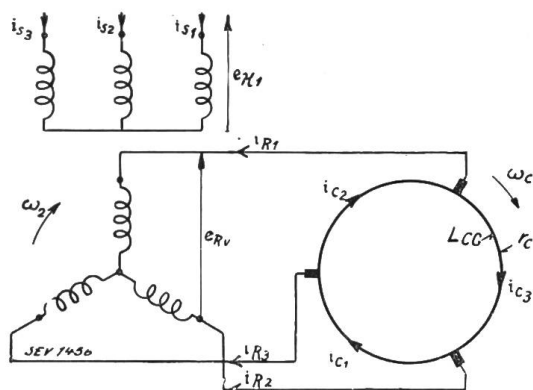


Fig. 3.
Schema des Asynchronmotors mit eigenerrigtem Kompensator.
 ω_c = elektrische Winkelgeschwindigkeit der Rotation.

Es ist natürlich auch möglich, die Wicklung dieses Kompensators in die Asynchronmaschine zu verlegen, wie dies bei den bekannten Spezialmotoren (Osnos-Heylandmotor usw.) der Fall ist.

Diese prinzipiellen physikalischen Grundlagen der Kompensation führten dazu, dass in der obenerwähnten Diplomaufgabe eine Reihe Schaltungen theoretisch und praktisch untersucht wurden. Im folgenden möchte ich einige kurz andeuten und die Theorie der theoretisch einfachsten entwickeln.

1. Eigenerrigter Kompensator (Fig. 3). (Scherbiuskompensator)

Die Anwendung des Induktionsgesetzes auf die Kompensatorwicklung ergibt:

$$e_{Rv} - i_{C3} r_C = + \frac{d}{dt} \left\{ i_{C3} L_{C33} + i_{C2} L_{C23} + i_{C1} L_{C13} \right\} = e'_{Rv}, \quad (7)$$

wobei L_C die Induktivität des Kompensators ist (die Indizes bezeichnen die Phasen, auf die sich die Induktivität bezieht).

Aus Fig. 3 folgt:

$$\left. \begin{aligned} i_{R1} &= -i_{C3} + i_{C2} \\ i_{R2} &= -i_{C1} + i_{C3} \end{aligned} \right\} i_{R1} - i_{R2} = -2i_{C3} + (i_{C2} + i_{C1}) = -3i_{C3}, \text{ da } i_{C1} + i_{C2} + i_{C3} = 0 \text{ ist.}$$

Somit wird (Fig. 4) $i_{C3} = -\frac{i_{R1} - i_{R2}}{3}$ und

$$\mathfrak{I}_{C3} = -\frac{1}{3}(\mathfrak{I}_{R1} - \mathfrak{I}_{R2}) = -\frac{\sqrt{3}}{3} \mathfrak{I}_{R1} \varepsilon^{j30}. \quad (8)$$

Der Wert der Spannung e'_{Rv} lässt sich sehr einfach auswerten bei folgender Annahme: Man denkt sich die Kompensatorwicklung aus zwei Teilwicklungen zusammengesetzt, von deren eine feststeht und die andere mit der Winkelgeschwin-

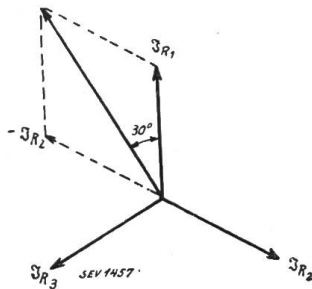


Fig. 4.
Zusammenhang zwischen Rotorströmen beim Asynchronmotor.

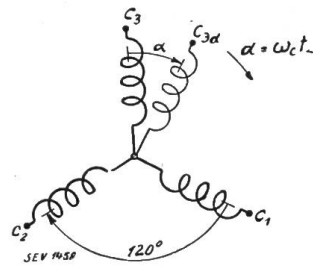


Fig. 5.
Symbolische Darstellung der Rotorwicklung des Kompensators.

digkeit $\alpha = \omega_c t$ rotiert; dann lässt sich die in der stillstehenden Wicklung von der rotierenden Spule induzierte EMK folgendermassen berechnen: Es ist (Fig. 5)

$$L_{C33\alpha} = L_{C33\max} \cos \alpha = L_{CC} \frac{\varepsilon^{ja} + \varepsilon^{-ja}}{2}$$

$$L_{C13\alpha} = L_{C13\max} \cos(240 + \alpha) = L_{CC} \frac{\varepsilon^{j(a+240)} + \varepsilon^{-j(a+240)}}{2}$$

$$L_{C23\alpha} = L_{C23\max} \cos(120 + \alpha) = L_{CC} \frac{\varepsilon^{j(a+120)} + \varepsilon^{-j(a+120)}}{2}$$

$$L_{C33\max} = L_{C23\max} = L_{C13\max} = L_{CC}.$$

$$i_{C3} = \bar{\mathfrak{I}}_{C3} \varepsilon^{js\omega_1 t} \quad i_{C2} = \bar{\mathfrak{I}}_{C3} \varepsilon^{j(s\omega_1 t - 240)} \quad i_{C1} = \bar{\mathfrak{I}}_{C3} \varepsilon^{j(s\omega_1 t - 120)},$$

worin $\bar{\mathfrak{I}}_{C3}$ den Maximalwert von i_{C3} bedeutet.

Werden die obigen Werte in die Gleichung (7) eingesetzt, so ergibt sich die Spannung e'_{Rv} zu:

$$\begin{aligned} e'_{Rv} &= + \frac{d}{dt} \left\{ \bar{\mathfrak{I}}_{C3} \frac{L_{CC}}{2} \varepsilon^{js\omega_1 t} (\varepsilon^{ja} + \varepsilon^{-ja} + \varepsilon^{j(a-120)} + \varepsilon^{-j(a+360)} + \varepsilon^{j(a+120)} + \varepsilon^{-j(a+360)}) \right\} = \\ &= + \frac{3}{2} \bar{\mathfrak{I}}_{C3} L_{CC} \frac{d}{dt} \left\{ \varepsilon^{js\omega_1 t} \varepsilon^{-ja} \right\}, \text{ da } \varepsilon^{ja} + \varepsilon^{j(a-120)} + \varepsilon^{j(a+120)} = 0 \text{ ist.} \end{aligned}$$

$$e'_{Rv} = + \frac{3}{2} \bar{\mathfrak{I}}_{C3} L_{CC} \varepsilon^{j(s\omega_1 t - a)} j \left(s\omega_1 - \frac{da}{dt} \right). \quad a = \omega_c t. \quad \frac{da}{dt} = \omega_c.$$

$$e'_{Rv} = + i'_{C3} L_{CC\Delta} j(\omega_1 - \omega_2 - \omega_c) \text{ am Kollektor gemessen,}$$

wobei wir definieren $\frac{3}{2} L_{CC} = L_{CC\Delta}$ gleich Drehinduktivität der Kompensatorwicklung und i_{c3} einen Strom, dessen Effektivwert gleich demjenigen von i_{c3} , dessen Frequenz aber um ω_C von derjenigen von i_{c3} verschieden ist.

Es schreibt sich somit der Effektivwert der Spannung zu:

$$\mathcal{E}'_{Rv} = +j \Im_{C3} L_{CC\Delta} (s\omega_1 - \omega_C).$$

$$\mathcal{E}_{Rv} = + \Im_{C3} [r_C + j(s\omega_1 - \omega_C) L_{CC\Delta}] \text{ mit Gleichung (8) kombiniert}$$

$$\mathcal{E}_{Rv} = - \Im_{R1} \frac{\sqrt{3}}{3} \varepsilon^{i30} [r_C + j(s\omega_1 - \omega_C) L_{CC\Delta}] \text{ an den Bürsten gemessen.} \quad (9)$$

$$\mathcal{E}_{Rv} = \Im_{R1} \sqrt{3} \varepsilon^{i30} (r_R + js\omega_1 L_{RR\Delta}) + \Im_{S1} \sqrt{3} \varepsilon^{i30} js\omega_1 L_{SR\Delta}. \quad (2)$$

Aus: (2) = (9) folgt

$$\Im_{S1} = - \Im_{R1} \frac{\left(r_R + \frac{r_C}{3}\right) + j \left\{s\omega_1 L_{RR\Delta} + \frac{1}{3} (s\omega_1 - \omega_C) L_{CC\Delta}\right\}}{js\omega_1 L_{SR\Delta}}.$$

Wird dieser Ausdruck in Gleichung (1) eingesetzt, so ergibt sich die Impedanz des auf diese Art kompensierten Motors zu:

$$\mathcal{Z}'_A = r_S + j\omega L_{SS\Delta} + \frac{\omega_1^2 L_{SR\Delta} L_{RS\Delta}}{r_R + \frac{1}{3} (r_C - j\omega_C L_{CC\Delta})} \quad (10)$$

$$\frac{\omega_1^2 L_{SR\Delta} L_{RS\Delta}}{s} + j\omega_1 \left(L_{RR\Delta} + \frac{1}{3} L_{CC\Delta}\right)$$

Der geometrische Ort der Impedanz des Motors und somit auch des Stromes ist ein Kreis, dessen Konstruktion keine weiteren Schwierigkeiten bietet.

Für den Spezialfall des mit dem Asynchronmotor starr gekuppelten Kompensators folgt:

$$\omega_R = \frac{\pi n_R}{30} = \text{mech. Kreisfrequenz der Rotation des Kompensators,}$$

$$\omega_C = \omega_R p_C;$$

$$\omega_2 = \frac{\pi n_2}{30} p_A, \text{ worin } p_A = \text{Polpaarzahl des Asynchronmotors und} \\ p_C = \text{Polpaarzahl des Kompensators bedeutet.}$$

$$\frac{\omega_R}{\omega_2} = \left(\frac{n_R}{n_2}\right) \frac{1}{p_A} \quad n_R = n_2, \text{ waraus folgt:} \\ \omega_C = \omega_2 \frac{p_C}{p_A} = \omega_1 (1-s) \frac{p_C}{p_A}.$$

Wenn $p_C = p_A$ ist, was praktischen Ausführungen entspricht, so wird die Impedanz (Fig. 6):

$$\mathcal{Z}''_A = r_S + j\omega L_{SS\Delta} + \frac{\omega_1^2 L_{SR\Delta} L_{RS\Delta}}{r_R + \frac{1}{3} (r_C - j\omega_1 L_{CC\Delta})} \\ \frac{\omega_1^2 L_{SR\Delta} L_{RS\Delta}}{s} + j\omega_1 \left(L_{RR\Delta} + \frac{2}{3} L_{CC\Delta}\right)$$

Der Radiusvektor dieses Kreises ist gleich

$$\Re = \frac{\omega_1 L_{SR\Delta} L_{RS\Delta}}{2 \left(L_{RR\Delta} + \frac{2}{3} L_{CC\Delta} \right) \cos \psi} \varepsilon^{-i \left(\frac{\pi}{2} + \psi \right)}$$

wobei $\operatorname{tg} \psi = -\frac{\omega_1 L_{CC\Delta}}{3r_R + r_C}$ ist.

Um eine konstante Kompensation $\cos \varphi = 1$ mit Hilfe eines eigenerregten Kompensators zu erreichen, muss dessen Tourenzahl in Funktion der Belastung variiert werden. Setzt man in der Gleichung (10)

$$Z'_A \sin \varphi = 0,$$

so berechnet sich die jeweilige Umdrehungszahl des Kompensators aus folgender Relation

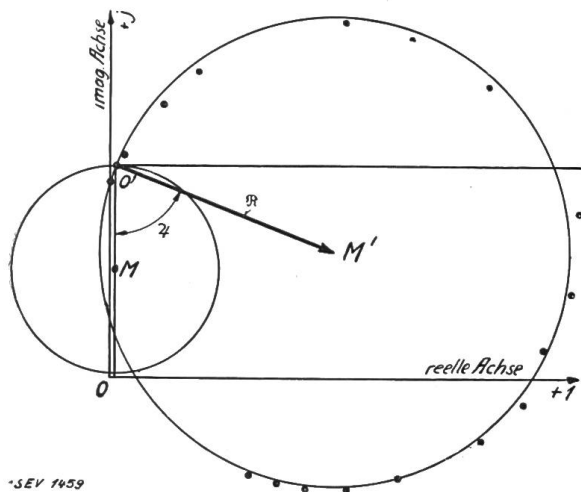


Fig. 6.

Darstellung von $\mathfrak{Z}'_A$ und $\mathfrak{Z}_A$.

grosser Kreis = geometrischer Ort für $\mathfrak{Z}'_A$
 kleiner Kreis = geometrischer Ort für $\mathfrak{Z}_A$
 . = durch Versuch ermittelte Punkte.

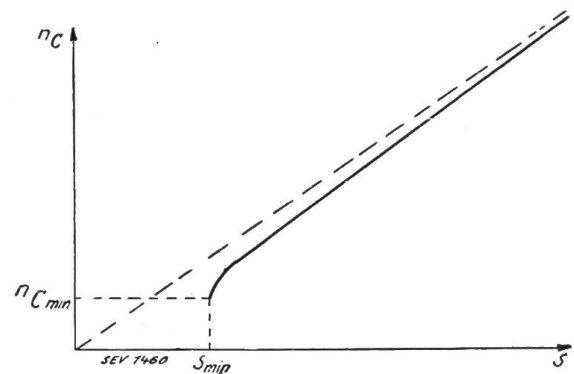


Fig. 7.

Prinzipieller Verlauf von $n_c = f(s)$ bei konstanter Kompensation ($\cos \varphi = 1$).

$$n_R = \frac{90}{\pi p_C} \frac{s \omega_1}{L_{CC\Delta}} \left\{ L_{RR\Delta} + \frac{1}{3} L_{CC\Delta} - \frac{K}{2} L_{RS\Delta} + \sqrt{\left(\frac{K L_{RS\Delta}}{2} \right)^2 - \left(\frac{\varrho}{s \omega_1} \right)^2} \right\}$$

worin $\varrho = r_R + \frac{1}{3} r_C$ bedeutet.

Es ist selbstverständlich, dass die Umdrehungszahl nicht eine komplexe Grösse werden kann. Das hat zur Folge, dass der Ausdruck unter der Wurzel im Grenzfalle 0 wird. Es folgt daraus für den Schlupf (Fig. 7):

$$s_{\min} = \frac{2 \varrho}{K \omega_1 L_{RS\Delta}}$$

Da K , ω_1 , $L_{RS\Delta}$ und r_R konstante Grössen der Asynchronmaschine sind, so ist es nötig, um schon bei geringem Schlupfe eine annehmbare Kompensation zu erreichen, den Widerstand der Kompensatorwicklung r_C auf ein Minimum zu reduzieren.

2. Eigenerregter Kompensator, dessen Stator kurzgeschlossen ist (Fig. 8).

Folge dieser Anordnung sind grössere Verluste, d. h. schlechterer Wirkungsgrad jedoch bei bedeutend besserer Kompensation.

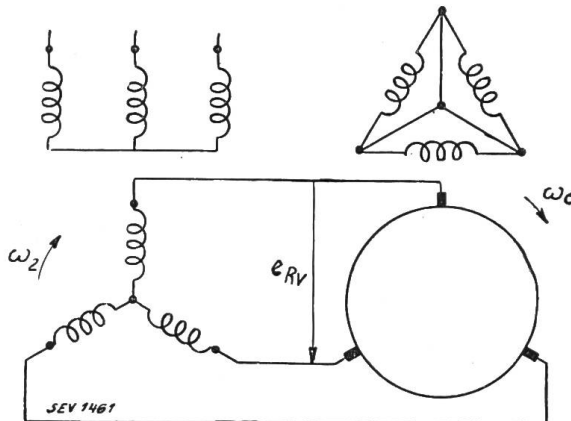


Fig. 8.

Schema des eigenerregten Kompensators mit kurzgeschlossenem Stator.

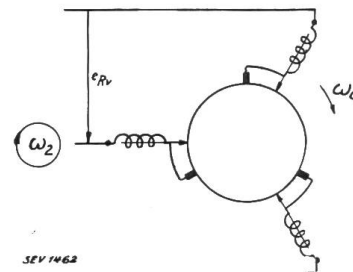


Fig. 9.

Schema des eigenerregten Kompensators mit Statorerregung.

3. Kompensation variabel, in Funktion der Bürstenstellung (Fig. 9).

Ähnliche Verhältnisse wie bei Anordnung 2.

4. Uebergang zum fremderregten Kompensator (Fig. 10).

Diese Anordnung bildet den Uebergang zum fremderregten Kompensator. Sie unterscheidet sich von der unter 3 angegebenen nur dadurch, dass die Statorwicklung im umgekehrten Sinne durchflossen ist. Folglich erzeugt diese im Rotorkreise eine negative Spannung. Die Kompensation ist nur dann erreichbar, wenn der Rotor umgekehrt zum Drehsinn des Feldes rotiert wird.

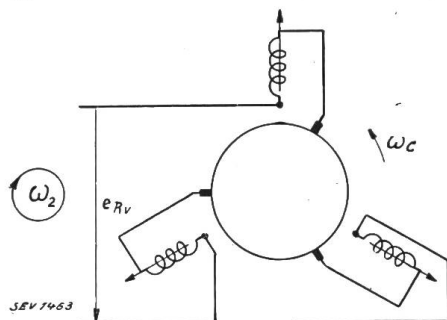


Fig. 10.

Schema des eigenerregten Kompensators mit Statorerregung (Uebergangsschaltung).

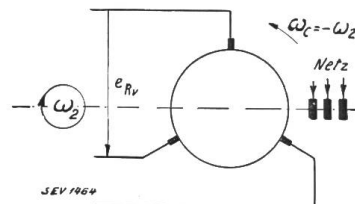


Fig. 11.

Schema des fremderregten Kompensators.

5. Fremderregter Kompensator (Fig. 11).

Die Kompensation wird hier mit negativer Spannung erreicht. Bedingung bei dieser Anordnung ist, dass $\omega_c = -\omega_2$ ist, d. h. der Kompensator muss starr mit der Asynchronmaschine gekuppelt werden.

Bei entsprechender Wahl der Fremdspannung, kann man die Kompensation schon bei Leerlauf vollkommen gestalten. Diese Methode erlaubt eine konstante Kompensation, die jedoch mit Variation der Umdrehungszahl des Asynchronmotors verbunden ist.

Eine weitere Möglichkeit besteht in einer

6. Kombination der Schaltungen 4 und 5.

Diese Schaltung gibt im Rahmen dieser Arbeit zu keinen weiteren Bemerkungen Anlass.