

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

IV. Superposition von Leerlauf und Kurzschlußzustand

[urn:nbn:de:bsz:31-285100](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-285100)

bei direktem Kurzschluß der Erregerbürsten. Der Grund hierfür liegt in der von der Sinusform etwas abweichenden Feldform.

Eine ähnliche Rechnung wie in Kap. II Abschn. 2 zeigt, daß auch hier in Gl. 9 und 11 statt $\left[1 - \left(\frac{c_r}{c}\right)^2\right]$ zu setzen ist $\left[1 - \left(\frac{c_r}{c}\right)^2 \frac{1}{\sigma_2 \sigma_3}\right]$, so daß der Arbeitsstrom bei nicht sinusförmigen Feldern erst verschwindet, wenn

$$\frac{c_r}{c} = \sqrt{\sigma_2 \sigma_3} \text{ ist.}$$

IV. Superposition von Leerlauf und Kurzschlußzustand.

1. Statorstrom. — 2. Rotorstrom.

1. Der Statorstrom.

Bei der Superposition hat man, wie in Kap. I, S. 85 gezeigt ist, auf den Stator die resultierende Spannung aus der Netzspannung P und der bei Leerlauf im Stator induzierten EMK E_{s_0} wirken zu lassen.

Der Stator hat bei jeder Geschwindigkeit eine Admittanz Y_k , die nach Größe und Phase durch den Vektor \overline{OP} nach dem Kreis Y_k in Fig. 15 dargestellt ist.

Wirkt auf den Stator die konstante Spannung P , so folgen die Ströme genau dem Verlauf der Admittanz, ist die Spannung veränderlich und $\mathfrak{P} - \mathfrak{E}_{s_0}$ (Fig. 8), so erhält man den Verlauf der Ströme, wenn man alle Vektoren Y_k mit dem entsprechenden Vektor der Spannung multipliziert. Als unabhängige Veränderliche ist für beide Vektoren die Geschwindigkeit anzusehen. Man findet also in den Diagrammen Fig. 15 und Fig. 8 der beiden Vektoren entsprechende Punkte durch den Geschwindigkeitsmaßstab, der in beiden Fällen derselbe ist.

In Fig. 19 ist das Leerlaufdiagramm E_{s_0} und das Kurzschlußdiagramm Y_k zusammengestellt.

Es stellen $\overline{OP} = Y_k$ und $\overline{OE} = E_{s_0}$ zwei zusammengehörige, d. h. bei derselben Geschwindigkeit auftretende Werte, der Statoradmittanz bei Kurzschluß und der im Stator bei Leerlauf induzierten EMK dar.¹⁾ Bei konstanter Spannung $P = \overline{OK}$ stellt \overline{OP} im Strom-

¹⁾ Um die Zeichnung nicht zu verwirren, sind die Geschwindigkeitsmaßstäbe fortgelassen.

maßstab auch den Statorstrom dar. Bei der Spannung $\mathfrak{F} - \mathfrak{E}_{s_0} = \overline{EK}$ ist dann der Statorstrom $\overline{OP^S} = J_s$, wenn

$$\overline{OP^S} : \overline{OP} = \overline{EK} : \overline{OK}$$

und der Winkel

$$\sphericalangle P^S OP = \sphericalangle EKO = \psi_e$$

ist. Multipliziert man daher alle Vektoren \overline{OP} mit dem Verhältnis $\frac{\mathfrak{F} - \mathfrak{E}_{s_0}}{\mathfrak{F}}$ und dreht sie um den Winkel ψ_e , um den $(\mathfrak{F} - \mathfrak{E}_{s_0})$ gegen \mathfrak{F} voreilt, so erhält man das Diagramm des Statorstromes J_s beim Betrieb als Nebenschlußmotor.

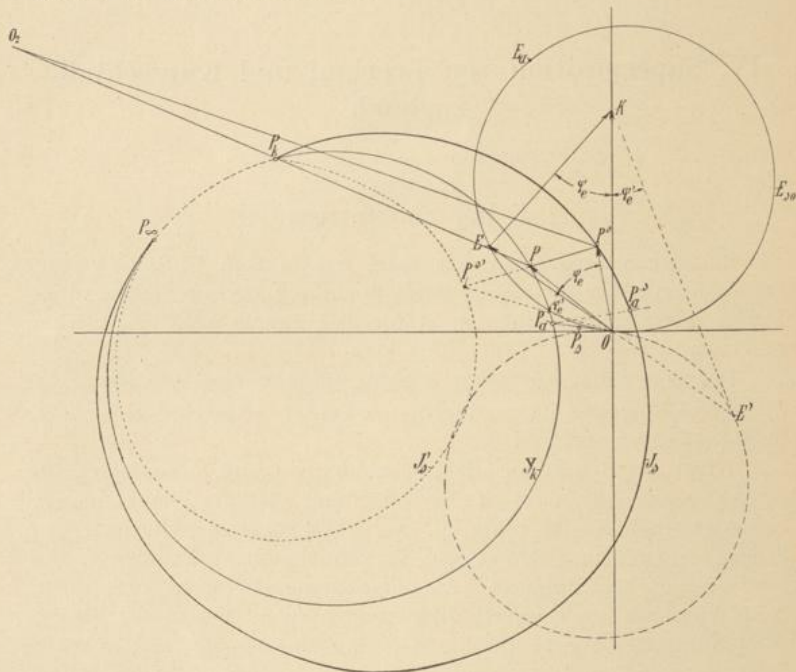


Fig. 19.

Da $\mathfrak{F} - \mathfrak{E}_{s_0}$ gegen \mathfrak{F} voreilt, werden alle Vektoren in der Phase vorausgeschoben, wobei die Wattströme und damit die Leistungsfähigkeit der Maschine vergrößert werden.

Damit der wattlose Strom ganz verschwindet, muß bei der betreffenden Geschwindigkeit der Verzögerungswinkel der Admittanz Y_k ebenso groß sein, wie der Winkel ψ_e , um den $\mathfrak{F} - \mathfrak{E}_{s_0}$ gegen \mathfrak{F} voreilt. Oberhalb dieser Geschwindigkeit eilt der Statorstrom J_s der Spannung voraus.

Wie aus Fig. 19 ersichtlich ist, wird auch die Leistungsfähigkeit als Generator vergrößert. Denn dicht oberhalb Synchronismus ist $\mathfrak{P} - \mathfrak{C}_{s_0}$ um 180° gegen \mathfrak{P} phasenverschoben, bei noch höherer Geschwindigkeit um mehr als 180° voreilend, d. h. verzögert.

Da E_{s_0} nur in der Nähe von Synchronismus groß ist, nähert sich die Stromkurve J_s dem Kreis Y_k immer mehr, je weiter man sich von Synchronismus entfernt. Bei $\frac{c_r}{c} = 0$ und $\frac{c_r}{c} = \infty$ fallen beide zusammen.

Das Leerlaufdiagramm E_{s_0} hat, wie in Kap. II gezeigt ist, noch einen zweiten symmetrischen Zweig, bei dem die EMKe E_{s_0} ebenso groß, aber um 180° in der Phase verschoben sind, und der in Fig. 19 punktiert eingezeichnet ist. Dieser Zweig entsprach der Umkehr der Drehrichtung, während der Kreis Y_k beiden Drehrichtungen entspricht.

Bei Umkehr der Drehrichtung des Motors wirkt also auf die Admittanz $Y_k = \overline{OP}$ die resultierende Spannung

$$\mathfrak{P} - \mathfrak{C}_{s_0} = \overline{E'K},$$

die um ψ'_e gegen \mathfrak{P} verzögert ist, so daß der Strom des Stators nun ebenfalls um diesen Winkel verzögert wird und nach $\overline{OP^{s'}}$ kommt.

Aus den ähnlichen Dreiecken $EE'K$ und $P^s O P^{s'}$ ist ersichtlich, daß P^s , P und $P^{s'}$ auf einer geraden Linie liegen und daß $\overline{PP^s} = \overline{PP^{s'}}$ sein muß. Man erhält also einen zweiten Zweig J'_s des Stromdiagramms (er ist in Fig. 19 punktiert gezeichnet), bei dem alle Wattströme verkleinert, die wattlosen Ströme vergrößert sind. Das Stromdiagramm ist also eine Kurve vierten Grades.

Während der gewöhnliche einphasige Induktionsmotor sich bei beiden Drehrichtungen gleich verhält, ist dies bei dem Nebenschlußmotor nicht der Fall.

Denn das Längsfeld des Rotors in der Achse der Statorwicklung ändert, wie in Kap. II gezeigt ist, seine Phase bei Umkehr der Drehrichtung. Es kann also entweder so gerichtet sein, daß es das Statorfeld unterstützt, dann übernehmen die Arbeitswindungen des Rotors ganz oder nur zum Teil die Erregung, und der wattlose Strom des Stators wird aufgehoben. Kehrt man die Drehrichtung um, ohne die Spannung an den Erregerbürsten umzukehren, so ist das Längsfeld des Rotors umgekehrt gerichtet wie zuvor und schwächt das Statorfeld, der Stator muß einen viel größeren wattlosen Strom aufnehmen.

Daraus folgt, daß man bei Umkehrung der Drehrichtung entweder die Spannung am Rotor oder die Spannung am Stator umkehren muß, ebenso wie bei einem Gleichstrom Nebenschlußmotor.

Die im Stator induzierte EMK E_s ist nun beim Betrieb als Nebenschlußmotor nicht einfach die geometrische Summe der EMK E_{s_0} bei Leerlauf und der EMK E_1 bei Kurzschluß, denn erstere wirkt ja wie eine dem Stator zugeführte Spannung, welche die veränderte Stromverteilung und daher eine veränderte Feldverteilung bedingt.

Im Diagramm Fig. 19 verhält sich stets der Abstand eines Punktes P vom Punkt O_2 , der die Abszisse $\frac{x_1}{z_1} z_2$ und die Ordinate $\frac{r_1}{z_1} z_2$ hat, zu $\overline{OO_2}$ wie die im Stator induzierte EMK zur Klemmenspannung

$$\frac{\overline{O_2P}}{\overline{O_2O}} = \frac{\mathfrak{E}_1}{\mathfrak{P}}$$

und daher verhalten sich die EMKe E_1 des Induktionsmotors und E_s des Nebenschlußmotors

$$\frac{\mathfrak{E}_1}{\mathfrak{E}_s} = \frac{\overline{O_2P}}{\overline{O_2P^s}}.$$

Dies ist auch das Verhältnis der Felder in der Statorachse.

Das Verhältnis der Querfelder ergibt sich bei den Rotorströmen (s. Abschn. 2).

Den Einfluß der Größe der dem Rotor zugeführten Spannung kann man aus dem Diagramm leicht entnehmen. Verändert man die Größe der Spannung am Rotor, so bewegt sich bei konstanter Geschwindigkeit der Endpunkt E des Vektors der EMK E_s auf der Geraden \overline{OE} , sofern die Konstanten der Maschine sich nicht ändern. Der Endpunkt P_s des Vektors J_s des Statorstromes bewegt sich dann auf der Geraden $\overline{PP^s}$, weil die Dreiecke OEK und PP^sO sich ähnlich sind.

Hieraus ergibt sich auch, daß der Motor, wenn man die Erregerspannung vergrößert oder verkleinert, nicht in seiner Geschwindigkeit reguliert werden kann. Denn dicht oberhalb Synchronismus ist $\mathfrak{P} - \mathfrak{E}_s$ um 180° gegen \mathfrak{P} phasenverschoben, hier nimmt der Induktionsmotor einen rein wattlosen Strom auf, und er bleibt also bei jeder Rotorerregung wieder rein wattlos.

Der synchrone Punkt P_a bewegt sich in Fig. 19 z. B. auf der Geraden $\overline{P_a P_a^s}$.

In Wirklichkeit werden sich freilich keine Geraden ergeben, da die Konstanten der Maschine bei der Superposition sich ändern,

insbesondere durch die Übergangswiderstände und Sättigung, und daher auch die Verluste andere werden. Man kann daher sagen, daß der Motor, der leer nahezu synchron läuft, wenn die Erregerbürsten kurzgeschlossen sind, bei jeder Erregerspannung ebenfalls nahezu synchron läuft. Läuft er bei kurzgeschlossenen Erregerbürsten etwas übersynchron durch die Wirkung von Oberfeldern oder durch eine Drosselspule, wie in Kap. III gezeigt ist, so wird er mit jeder dem Rotor zugeführten Erregerspannung wieder nahezu bei derselben Geschwindigkeit leer laufen.

Der Geschwindigkeitsmaßstab gilt für das Stromdiagramm des Nebenschlußmotors nicht mehr, und daher kann der Geschwindigkeitsabfall von Leerlauf bis Belastung nicht aus dem Diagramm entnommen werden.

Folgende Überlegung zeigt aber, daß er sich nur unwesentlich ändert, wenn die Erregerbürsten an das Netz angeschlossen sind. Mit kurzgeschlossenen Bürsten schlüpft der Motor wie jeder einphasige Induktionsmotor bis zu seiner Belastungsgrenze nur etwa halb so viel wie ein mehrphasiger Induktionsmotor, weil das Querfeld mit der Geschwindigkeit abnimmt. Dies zeigt ja auch der quadratische Geschwindigkeitsmaßstab im Diagramm des einphasigen Induktionsmotors. Die Belastungsgrenze des einphasigen Induktionsmotors liegt daher im allgemeinen etwa bei einer Schlüpfung von 10⁰/₀.

Durch Zuführung einer Spannung an den Erregerkreis wird die maximale Belastungsfähigkeit des Motors vergrößert, die Schlüpfung hierbei aber fast gar nicht geändert, so daß der Tourenabfall bis zu einer bestimmten Belastung sich nur um wenige Prozent ändert, und zwar bei Erregung geringer wird.

Bei richtiger Erregung wird der Stromwärmeverlust bei einer bestimmten Belastung verringert, weil die wattlose Komponente des Stromes verkleinert wird, der Leerlaufverlust kann aber unter Umständen zunehmen, weil die Felder vergrößert sind. Um einen günstigen Wirkungsgrad zu erzielen, wird man daher die Erregung nicht zu stark machen und nur etwa so groß, daß der Motor gerade kompensiert ist. Hierzu ist erforderlich, wie das Diagramm zeigt, daß bei Leerlauf E_{s_0} angenähert gleich P wird, und nach Kap. II S. 100 muß hierzu die Erregerspannung kP den Betrag

$$kP \simeq 2r_3 \frac{P}{Z_a u_e}$$

haben.

2. Der Rotorstrom.

In Fig. 20 stellt die Kurve J_{3k} wieder die Ströme in den Erregerwindungen bei kurzgeschlossenen Bürsten und bei konstanter Klemmenspannung P am Stator für denselben Motor dar, für den Fig. 19 gilt. Wirkt auf den Stator die veränderliche Spannung $\mathfrak{P} - \mathfrak{E}_{s_0}$, so ändert sich auch der Rotorstrom, der bei

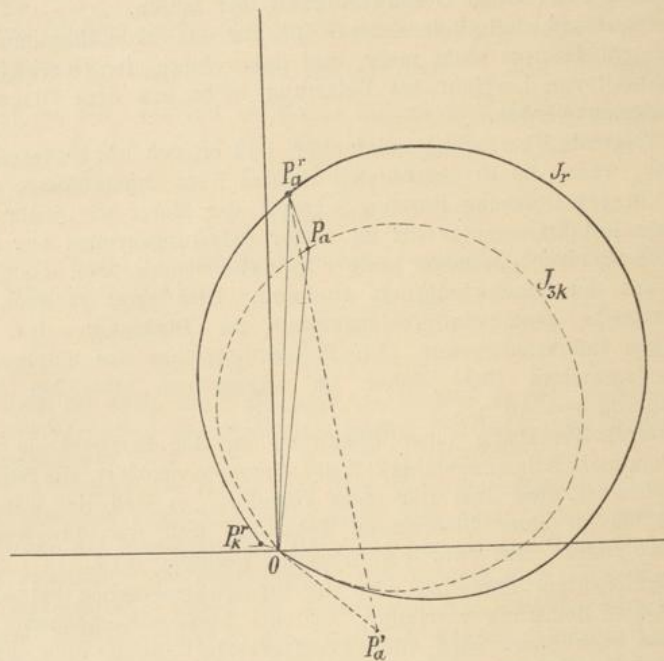


Fig. 20.

Kurzschluß der Erregerbürsten induziert wird, nach Größe und Phase im Verhältnis $\frac{\mathfrak{P} - \mathfrak{E}_{s_0}}{\mathfrak{P}}$; d. h. es sind auch die Rotorströme, die durch Kurve J_{3k} dargestellt werden, mit dem Betrag dieses Verhältnisses zu multiplizieren und um den Winkel ψ_e zwischen $(\mathfrak{P} - \mathfrak{E}_{s_0})$ und \mathfrak{P} zu drehen. Diese Konstruktion ist in Fig. 20 für den synchronen Punkt P_a durchgeführt. Der Vektor $\overline{OP_a}$ gelangt hierbei nach $\overline{OP_a'}$, wobei $\frac{\overline{OP_a'}}{\overline{OP_a}}$ sich verhalten wie die Spannungs-

vektoren in Fig. 19. $\frac{\overline{E_a K}}{\overline{OK}}$ und der Winkel $\overline{P_a O P_a'}$ ist gleich dem Winkel $\overline{E_a K O}$ in Fig. 19.

$\overline{OP_a'}$ stellt aber noch nicht den Rotorstrom beim Betrieb als Nebenschlußmotor dar, sondern es ist hierzu noch, wie in Kap. I, Seite 85 gezeigt ist, der Rotorstrom bei Leerlauf nach Fig. 7 zu addieren. Er ist in Fig. 20 für Synchronismus gleich $\overline{P_a' P_a''}$, so daß $\overline{OP_a''}$ der Rotorstrom der an das Netz angeschlossenen Erregerwicklung ist. Führt man diese Konstruktion durch, so ergibt sich die Kurve J_r für den Rotorstrom des Nebenschlußmotors, die ähnlich verläuft, wie die Kurve J_{sk} des kurzgeschlossenen Motors, nur ist der Strom bei Stillstand nicht Null, weil ja schon beim Leerlaufzustand ein kleiner Strom bei Stillstand bestand.

Die Rotorströme sind in Fig. 20 wieder in 10facher Vergrößerung gegenüber den Statorströmen der Fig. 19 dargestellt. Die Ströme, die aus dem Nebenschlußtransformator (siehe Fig. 2) dem Netz entnommen werden, sind k mal so groß, und da das Übersetzungsverhältnis groß sein muß, werden diese Ströme sehr klein und das Diagramm des gesamten aus dem Netz entnommenen Stromes weicht nur wenig von dem des Statorstromes in Fig. 19 ab.

Das hier entwickelte Diagramm kann nur allgemeinen Aufschluß über die Wirkungsweise des Motors geben.

Da es kein Kreisdiagramm ist, lassen sich Verlustlinien usw. nicht in so einfacher Weise wie bei einem Asynchronmotor einzeichnen, und dann ist, wie in Kap. III gezeigt ist, auch die Vorausbestimmung des Ausgangsdiagramms nicht möglich.

Aber auch wenn dies möglich wäre, würde es nicht den richtigen Wirkungsgrad angeben, da es unter vereinfachenden Voraussetzungen, insbesondere bezüglich der Verluste, abgeleitet ist, die nicht zutreffen, wichtige Verluste, z. B. die Kommutationsverluste, können überhaupt nicht berücksichtigt werden.

Deshalb hätte es auch keinen Zweck, das Diagramm durch einen angenäherten Kreis zu ersetzen, und es soll vielmehr die Wirkungsweise im folgenden an Hand einiger Bremsversuche weiter besprochen werden.