

ZUR NUTSCHRÄGUNG DER ASYNCHRONMOTOREN

Von

J. LISKA

Lehrstuhl für Elektrische Maschinen und Messungen der Technischen Universität, Budapest

(Eingegangen am 17. Februar 1959)

Die Erregerkurve einer dreiphasigen, ungesehnten Ganzlochwicklung, welche ein Drittel der Polteilung bedeckt, enthält Harmonische von der Ordnungszahl

$$\nu = 6g + 1 \quad (1)$$

wenn g eine beliebige ganze positive oder negative Zahl einschließlich Null bedeutet.

Es treten also folgende Harmonische auf

$$\begin{array}{cccccccccccccccc} g & 0 & -1 & +1 & -2 & +2 & -3 & +3 & -4 & +4 & -5 & +5 & -6 & +6 & \text{usw.} \\ \nu & +1 & -5 & +7 & -11 & +13 & -17 & +19 & -23 & +25 & -29 & +31 & -35 & +37 & \text{usw.} \end{array}$$

Alle Ordnungszahlen sind ungerade und nicht durch drei teilbar.

Jene Harmonische, deren Ordnungszahlen der Gleichung

$$\nu_n = 6g q_1 + 1 \quad (2)$$

genügen, wobei q_1 die Nutenzahl pro Pol und Phase bedeutet, werden Nutharmonische genannt. Es ist charakteristisch, daß ihre Zonenfaktoren bei beliebigem g und q_1 untereinander gleich, also auch gleich dem für $g = 0$ gültigen Faktor der Grundwelle sind. Sie kommen deshalb mehr als die übrigen Harmonischen zur Geltung und können den glatten Anlauf von Asynchronmotoren mit Käfigankern behindern und Geräusch verursachen.

Die Ordnungszahlen der Nutharmonischen sind

für $q_1 = 2$

$$\begin{array}{cccccccc} g & -1 & +1 & -2 & +2 & -3 & +3 & \text{usw.} \\ \nu_n & -11 & +13 & -23 & +25 & -35 & +37 & \text{usw.} \end{array}$$

für $q_1 = 3$

$$\begin{array}{cccccccc} g & -1 & +1 & -2 & +2 & -3 & +3 & \text{usw.} \\ \nu_n & -17 & +19 & -35 & +37 & -53 & +55 & \text{usw.} \end{array}$$

für $q_1 = 4$

g	-1	+1	-2	+2	-3	+3	usw.
ν_n	-23	+25	-47	+49	-71	+73	usw.

$g = 0$ ergibt jeweils die Grundwelle.

Von Bedeutung sind nur die Oberwellen ersten Grades für welche $g = \pm 1$ ist, da die Oberwellen höheren Grades, welche $g > \pm 1$ entsprechen, schon sehr kleine Amplituden haben.

Als gefährlich für den Anlauf können im allgemeinen die ersten zwei Harmonischen der ersten Tabelle angesehen werden; die übrigen nur dann,

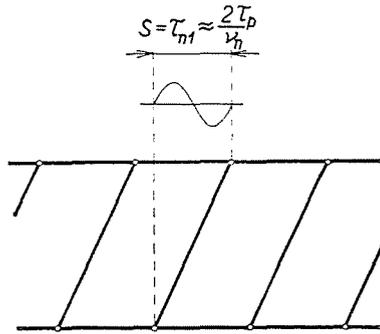


Bild 1. Wenn die Nutschrägung der Wellenlänge einer Nutharmonischen gleich ist, induziert diese in den Rotorstäben keine Spannung

wenn sie Nutharmonische sind. Die 5-te und die 7-te Harmonische können durch Sehnung der Ständerwicklung auf einen unschädlichen Wert gebracht werden. Für die höheren Harmonischen ist diese Methode nicht anwendbar, weil die Nutteilung — das kleinste Maß der Schrittverkürzung — zu groß ist. Gegen diese, in erster Linie gegen die Nutharmonischen, muß ein anderes Mittel, die Nutschrägung angewendet werden.

Käfigankermotoren mit geschrägten Nuten im Rotor werden schon seit vielen Jahren mit Erfolg verwendet. Die Harmonischen der Stator-Erregerkurve werden dadurch zwar nicht beeinflusst, es wird aber ihre Wirkung auf den Rotor stark vermindert.

In den meisten Lehrbüchern finden wir die Bemerkung, daß es »üblich« ist um eine Stator-Nutteilung zu schrägen, oder daß »in den meisten Fällen« um eine Stator-Nutteilung geschrägt wird. Es wird zwar immer der Ausdruck des Schrägungsfaktors abgeleitet oder angegeben, ohne aber diesen zum Beweis der Richtigkeit des üblichen Schrägungsmaßes zu verwenden.

Der Grund dafür ist aber leicht anzugeben. Wenn die Wellenlänge einer Harmonischen der Stator-Erregerkurve nach Bild 1 ebenso groß ist wie die Schrägung s , kann diese in den Stäben des Rotors nichts induzieren. Wir

können uns ja den Stab aus vielen kleinen ungeschrägten Elementen bestehend denken, von denen immer je zwei gefunden werden können, in denen entgegengesetzt gleiche Spannungen induziert werden.

Vernachlässigt man die Nutharmonischen höheren Grades, wird mit $g = \pm 1$ die Ordnungszahl der Nutharmonischen unter den eingangs erwähnten Verhältnissen

$$\nu_n = \pm 6q_1 + 1$$

Die Wellenlänge der Grundharmonischen ist

$$2\tau_p = 6q_1 \tau_{n1}$$

wenn mit τ_p die Polteilung und mit τ_{n1} die beim Luftspalt gemessene Nutteilung des Stators bezeichnet wird. Die Wellenlänge der ν_n -ten Harmonischen ist ν_n -mal kleiner als die doppelte Polteilung und wenn Oberwellen mit gerader Ordnungszahl auftreten würden, also $\nu_n = 6q_1$ wäre, so wäre die Wellenlänge der ν_n -ten Harmonischen

$$\frac{2\tau_p}{\nu_n} = \frac{2\tau_p}{6q_1} = \tau_{n1}$$

also genau einer Statornutteilung gleich u. zw. unabhängig von q_1 .

In Wirklichkeit ist aber die Wellenlänge der ν_n -ten Harmonischen von τ_{n1} etwas verschieden. Z. B. ist für $q_1 = 3$, mit $\nu_n = -17$ und $+19$ der Unterschied gegenüber der in Wirklichkeit nicht auftretenden Welle mit $\nu = 18$, $\pm \frac{1}{18} 100 = \pm 5,55\%$. Das gleiche gilt auch für die Nutharmonischen höheren Grades, also z. B. für $\nu_n = -35$ und $+37$ usw. wo ungefähr g Wellenlängen auf eine Statornutteilung entfallen.

Die im Rotorstab induzierte Restspannung ist gegenüber der im ungeschrägten Rotorstab induzierten Spannung von gleicher Größenordnung, was sich aus dem allgemeinen Ausdruck des Schrägungsfaktors ergibt :

$$\xi_{schr} = \frac{\sin \nu \frac{\beta}{2}}{\nu \frac{\beta}{2}}$$

β ist der Schrägungswinkel. Bei $q_1 = 3$ z. B. und mit einer Schrägung gleich einer Stator-Nutteilung ist

$$\beta = \pi / 3q_1 = 180^\circ / 3 \cdot 3 = 20^\circ$$

Somit ist z. B. für die 5-te Harmonische

$$\xi_{schr5} = \frac{\sin 5 \cdot 10^\circ}{5 \cdot 10^\circ \pi / 180^\circ} = 0,875$$

Ebenso ist für $\nu = 7, 11$ und 13 , $\xi_{schr} = 0,77, 0,51$ und $0,278$. Für die Nutharmonischen ersten und zweiten Grades, also mit $g = 1$ und 2 in der Formel (2) wird

$$\xi_{schr17} = 0,0585 \quad \text{und} \quad \xi_{schr19} = 0,052$$

bezw.

$$\xi_{schr35} = 0,0284 \quad \text{und} \quad \xi_{schr37} = 0,0255$$

Für die nicht existierende Welle mit $\nu = 6q_1 = 18$ wäre

$$\xi_{schr18} = \frac{\sin 18 \cdot 10^\circ}{18 \cdot 10^\circ \pi / 180^\circ} = 0$$

Die induzierende Wirkung der Grundwelle wird durch dieses Maß der Schrägung in allen Fällen nur unbedeutend beeinflusst, denn für diese ist

$$\xi_{schr1} = \frac{\sin 1 \cdot 10^\circ}{1 \cdot 10^\circ \pi / 180^\circ} = 0,999$$

und der Einfluß ist auch auf die 5-te und 7-te Oberwelle nicht groß. Sehr bedeutend ist hingegen die Verminderung der Spannungen, welche durch Nutharmonischen hervorgerufen werden, in unserem Beispiel ($q_1 = 3$) werden diese für $g = 1$ auf ungefähr 5% des Wertes ohne Schrägung reduziert.

Die Nutharmonischen kommen immer paarweise vor, und die zweite in der Ordnungsreihe, welche positives Vorzeichen hat, ist die wichtigere, weil sie einem Drehfeld von positiver Richtung entspricht und parasitäre Drehmomente in der Nähe des Stillstandes erzeugt und so den Anlauf stören kann.

Man könnte die Schrägung um einige Prozente verkleinern und so den Einfluß dieser Harmonischen beseitigen. Bei kleinen Maschinen, z. B. mit $\tau_{n1} \approx 20$ mm, welche hier hauptsächlich in Betracht kommen, müßte die Schrägung um ungefähr 1 mm verkleinert werden, was fabrikationstechnisch kaum genau eingehalten werden könnte und sich auch nicht lohnt, wie es aus den zahlenmäßigen Werten ersichtlich ist. Der Einfluß der anderen Nutharmonischen, welche zu dem Paar gehört, würde natürlich dadurch vergrößert werden.

Eine totale Unterdrückung des Einflusses der Nutharmonischen ist auch so nicht zu erwarten, unter anderem auch deshalb nicht, weil die Rotorstäbe im allgemeinen gegen das Eisen nicht isoliert sind. In diesem Falle können aber die einander entgegen wirkenden Spannungen der Stäbe Ströme hervorbringen, welche sich über das Eisen schließen.

Zusammenfassung

Die Nuten der Käfigläufer werden in allgemeinen um eine Ständernut-Teilung geschrägt. Der einfache Grund hierfür wird angegeben.

Schrifttum

RICHTER, R.: Elektrische Maschinen Bd. IV. Verlag Birkhäuser, Basel—Stuttgart 1954.
NÜRNBERG, W.: Die Asynchronmaschine, Springer-Verlag, 1952.
LIWSCHITZ, M., Electric Machinery, Vol. II. D. Van Nostrand Co, New York 1950.

Prof. J. LISKA, Budapest XI., Budafoki út 8, Ungarn.