Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 25 (1934)
Heft: 11

Artikel: Fräsmotoren für die Holzindustrie
Autor: Waclawik, Artur
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1056558

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 22.08.2025

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

mer vorhanden ist, nicht störend empfunden wird. Durch bereitwilliges Entgegenkommen des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich war es möglich, eine Strecke von etwa 400 m Länge der Bahnhofstrasse versuchsweise mit 12 Quecksilberdampflampen zu beleuchten. Zwischen Bürkli- und Paradeplatz wurden die 500 W-Glühlampen in den Armaturen der Mittelaufhängungen durch Quecksilberdampflampen von 275 W ersetzt. Da sie in ihren Längenabmessungen ungefähr den Glühlampen gleichen Lichtstromes entsprechen und nur einseitig gesockelt sind, konnten sie ohne weitere Aenderung in die vorhandenen Leuchten eingeschraubt werden (Fig. 5). Es war nur erforderlich, je eine Drosselspule vorzuschalten, die teils an den Ueberspannungen, dicht bei der Armatur, aufgehängt, teils in den Anschlusskasten untergebracht wurden. Die Wirkung wird als gut beurteilt, und die Farbänderung ist gering, denn der fehlende Rotgehalt wird durch das Licht der in den Kandelabern am Trottoirrand befindlichen Glühlampen genügend ergänzt. Von den meisten Verkehrsbeteiligten wird diese Beleuchtung gar nicht besonders bemerkt, ein gutes Zeichen dafür, dass sie nicht störend empfunden wird. Da die Bahnhofstrasse mit Bäumen bepflanzt ist, erscheint das Blätterwerk im Lichte des Quecksilbers viel intensiver grün als bei gewöhnlichem Glühlampenlicht.

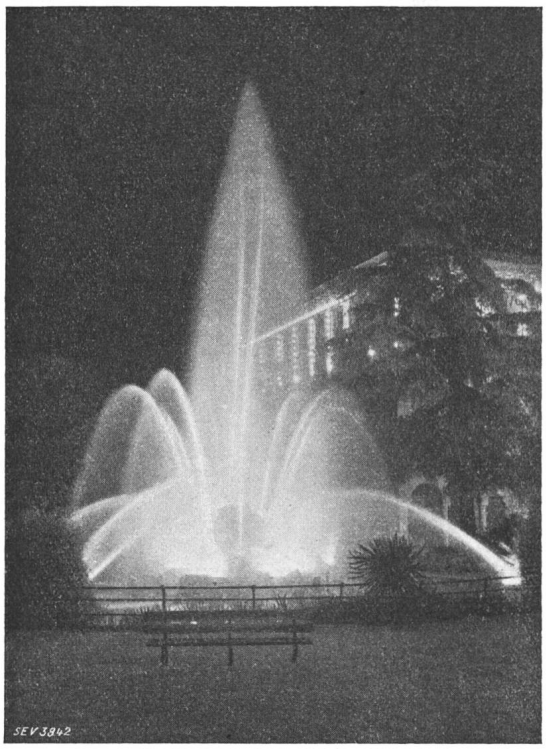

Fig. 6.
Springbrunnen in Lugano im Licht von Quecksilber- und Natriumdampf-Lampen.

Quecksilberdampflampen kommen ausser für die Beleuchtung von Strassen, Plätzen, Höfen und grossen Fabrikhallen noch für weitere Anwendungsgebiete in Frage, so z. B. für die Anleuchtung von Gebäuden, Parkanlagen, ferner für Reklamezwecke, sei es zum Anstrahlen von Flächen mit Aufschriften, sei es zum Durchleuchten von transparenten Materialien. Wegen des hohen Blaugehaltes ihrer Lichtfarbe eignen sie sich auch ausgezeichnet für Bühnenbeleuchtung, ferner zur Beleuchtung in Schaufenstern, wo eine gut an das Tageslicht angenäherte Lichtfarbe nötig wird, z. B. für Glas, Kristall, Porzellan, Metall- und Weisswaren. Am vorteilhaftesten wird hier das Quecksilberlicht im Lichtstromverhältnis von 1 : 1 mit Glühlampenlicht gemischt.

Reizvoll ist die Wirkung, wenn bewegtes Wasser angestrahlt wird, und neuartig ist das Bild, wenn hierfür Quecksilberlicht Verwendung findet. Ein an der Lichtwoche in Bern im Rosengarten unternommener Versuch hat dazu ermuntert, eine solche Anlage etwas weiter auszubauen. Für die Lichtwoche in Lugano wurde daher der Springbrunnen auf der Piazza Manzoni mit einer kombinierten Anlage von 6 Quecksilberlampen zu 550 W und 12 Natriumdampflampen zu 70 W ausgerüstet (Fig. 6). Der viel beachtete Brunnen stellte einen Hauptanziehungspunkt der Lichtwoche dar.

Die Metalldampflampen können natürlich ihrer besonderen Licht- und Farbeigenschaften wegen nicht die vielseitige Anwendung wie die Glühlampen finden. Sie werden vorerst hauptsächlich für das Gebiet der Verkehrs- und Reklamebeleuchtung in Frage kommen. Hier dürfte aber der Vorteil der grossen Lichtausbeute von so grosser Bedeutung sein, dass viele Anlagen neu eingerichtet oder bestehende wesentlich verbessert werden.

Fräsmotoren für die Holzindustrie.

Von *Artur Waclawik*, Wien.

621.34 : 674

Es werden kurz die Motortypen erwähnt, welche die für Holzfräser nötige hohe Drehzahl erreichen; näher beschrieben wird der Betrieb von Drehstromkurzschlussläufermotoren mit erhöhter Frequenz unter Berücksichtigung der besonderen Betriebsverhältnisse. Dann wird auf die Leistungsbemessung dieser Motoren eingegangen, die zweckmässige Schutzart und, besonders eingehend, die Frage der Lager, deren Schmierung und sonstige Behandlung erörtert, und zum Schluss wird die Befestigung der Werkzeuge behandelt.

L'auteur mentionne brièvement les types de moteurs qui atteignent les vitesses élevées nécessaires pour les fraiseuses sur bois, puis décrit le fonctionnement des moteurs triphasés à induit court-circuité à fréquence surélevée en tenant compte des conditions spéciales de marche. Après quelques considérations sur la puissance à donner à ces moteurs et sur la manière correcte de les protéger, l'auteur approfondit la question des paliers, leur graissage et leur entretien pour terminer par une étude de la fixation des outils.

Die für einen zweckmässigen Zusammenbau nötige unmittelbare Vereinigung von Motor und Arbeitswelle erfordert bei Fräsen Motordrehzahlen, die meist über 3000 U/min liegen. Mit Kommutatormotoren ist es zwar möglich, die erforderlichen Drehzahlen zu erreichen, doch kommt wegen der beim rasch laufenden Stromwender sich ergebenden elektrischen und mechanischen Schwierigkeiten diese Bauform für Fräsen weniger in Betracht. Auch der für einen einwandfreien Betrieb nötige ruhige Lauf ist wegen der durch die Atmung der Wicklung nicht mit Sicherheit zu vermeidenden Verlagerung nicht immer gewährleistet. Ein weiterer Nachteil ist die Funkenbildung am Stromwender, die wegen des anfallenden Holzstaubes die Betriebssicherheit gefährdet. Falls mit Drehzahlen bis 6000 U/min das Auslangen gefunden wird, kann die Verwendung einer elektrischen Kaskade von zwei Motoren (Doppelmotor) in Erwägung gezogen werden; doch wird diese Ausführungsform wegen des nicht sehr einfachen Aufbaues nur in Fällen, bei welchen es sich um den Antrieb einer oder weniger Maschinen handelt, eine wirtschaftliche Lösung der Antriebsfrage darstellen.

Für industrielle Anlagen mit einer grösseren Anzahl von Fräsmaschinen kommt mit Rücksicht auf die geschilderten Verhältnisse wohl nur die Frequenzerhöhung in Betracht, wodurch die dem heutigen Stand der Bearbeitungstechnik entsprechenden hohen Drehzahlen bei Verwendung des einfachen und betriebssicheren Drehstrom-Kurzschlussläufers erzielt werden. Das Heraufsetzen der Frequenz hat ausserdem noch den Vorteil, dass kleinere Motormodelle gewählt wer-

den können, da die einer bestimmten Motorgrösse zugeordnete Leistung entsprechend der mit der Frequenz heraufgesetzten Spannung steigt.

Der für die Frequenzerhöhung erforderliche Frequenzumformer [1]) besteht zumeist aus einem Generator, der dem Aufbau nach einem Schleifringläufer gleichkommt, dessen Ständer an das 50periodige Netz angeschlossen wird. Der Anker wird durch einen Asynchronmotor gegen das Drehfeld des Ständers angetrieben. Durch die Erhöhung der relativen Geschwindigkeit des Drehfeldes gegenüber dem Rotor kann von den Schleifringen Strom erhöhter Frequenz abgenommen werden. Ist kein entsprechendes Drehstromnetz vorhanden, so ist ein Synchron-Umformer, der von einem Gleichstrommotor oder von einer Transmission angetrieben wird, zu verwenden. Dieser unterscheidet sich von den sonst gebräuchlichen Synchronmaschinen nur durch die höhere Drehzahl.

Um auch mit grossen Werkzeugen, wie Schlitzscheiben, arbeiten zu können, ist bei den hiefür vorgesehenen Fräsmaschinen eine Drehzahländerung nötig. Diese könnte durch Polumschaltung ermöglicht werden, doch wird man, da der polumschaltbare Motor grösser ausgelegt werden muss als eine nur für die geringere Polzahl bestimmte Maschine, dem Anschluss an das 50periodige Netz den Vorzug geben. Ein wahlweiser Anschluss an das hochperiodige und an das normale Verbrauchernetz erfordert jedoch eine entsprechende Anpassung der Netzspannungen.

Bei Asynchronmotoren ist die Spannung proportional der Frequenz und der Feldstärke. Wird daher ein für 50 Per./s gewickelter Motor an ein Netz mit einer Frequenz von z. B. 60 Per./s angeschlossen, so müsste, um Feld bzw. Drehmoment konstant zu halten, die Spannung verhältnisgleich

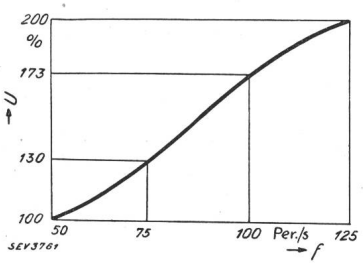

Fig. 1.
Spannungserhöhung in Abhängigkeit von der Frequenz.

mit der Frequenz geändert werden. Die Leistung wird dann im gleichen Verhältnis zur Frequenz höher. Da aber Wirbelstrom- und angenähert auch Hysteresisverluste ungefähr dem Quadrat der Frequenz proportional sind, muss man, um die Eisenverluste in erträglichen Grenzen zu halten, beim Uebergang auf höhere Frequenzen von der verhältnisgleichen Erhöhung der Spannung Abstand nehmen. In Fig. 1 ist der vorteilhaft zu wählende Zusammenhang von Spannung und Frequenz dargestellt.

Bei einem Normalnetz mit 220 V, 50 Per./s, wäre somit für 125 Per./s eine Spannung von 440 V empfehlenswert, um den wahlweisen Anschluss zu ermöglichen. Steht jedoch für die normalen Stromverbraucher 380 V, 50 Per./s, zur Verfügung, so würde bei entsprechender Heraufsetzung die Sekundärspannung des Frequenzumformers schon in den Bereich recht hoher Spannung fallen (760 V). Um dies zu vermeiden, werden die Fräsmotoren für 220/380 V bei 50 Per./s gewickelt und bei Anschluss an 125 Per./s in Dreieck geschaltet. Beim Netzwechsel muss also gleichzeitig eine Stern-Dreieck-Umschaltung vorgenommen werden.

Für Motoren, welche mit einer über 125 Per./s liegenden Frequenz gespeist werden, kommt ein wahlweiser Anschluss praktisch schon nicht mehr in Betracht. Bei den dann sich ergebenden hohen Drehzahlen ist der Leistungsbedarf verhältnismässig gering, so dass mit Rücksicht auf eine wirtschaftliche Auslegung von einem Anschluss an das 50periodige Netz abgesehen werden muss. Der Leistungsbedarf der Holzfräsen steigt nämlich mit sinkender Drehzahl, weil der Durchmesser der zur Verwendung kommenden Werkzeuge grösser wird. Die einem bestimmten Motormodell zugeordnete Leistungsabgabe fällt jedoch mit kleiner werdenden Drehzahl.

Die nötige Leistung schwankt in weiten Grenzen, weil die Ansprüche, welche an die Maschinen gestellt werden, sehr verschieden sind. Einfluss haben Schnittbreite, Spantiefe, Werkzeugdurchmesser, Drehzahl und Vorschub. Während für Fräsen mit 18 000 U/min wegen der kleinen Werkzeugdurchmesser schon Leistungen in der Grössenordnung von

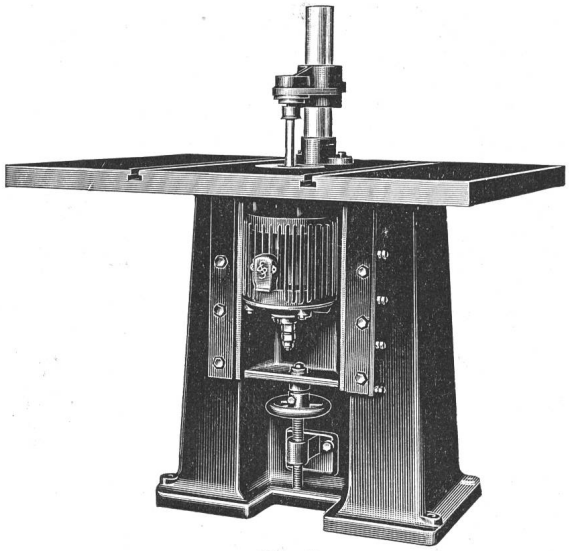

Fig. 2.
Gekapselter Fräsmotor 2,2 kW; 7250 U/min.

0,3 kW genügen, benötigen schwere Fräsen zum Schlitzen bis zu 4 kW.

Für die Leistungsbemessung ist in erster Linie die Betriebsart massgebend. Da der Vorschub des Werkstückes meist von Hand durchgeführt wird, liegt vielfach nur ein Dauerbetrieb mit aussetzender Belastung vor. Das Verhältnis von Belastungs- zu Leerlaufzeit schwankt, wie Aufnahmen zeigen, ungefähr zwischen 6 : 4 und 7 : 3. Aus diesem Grunde werden Fräsmotoren meist für eine Belastungsdauer von 66 % ausgelegt. Zu berücksichtigen ist noch, dass im Schnitt vorübergehende Spitzenbeanspruchungen bis 200 % der Nennleistung und darüber auftreten können. Damit diese Stossbelastungen anstandslos abgegeben werden, müssen Fräsmotoren ein grosses Kippmoment aufweisen. Die Festlegung der Modellgrösse erfolgt daher bei Fräsmotoren nicht wie

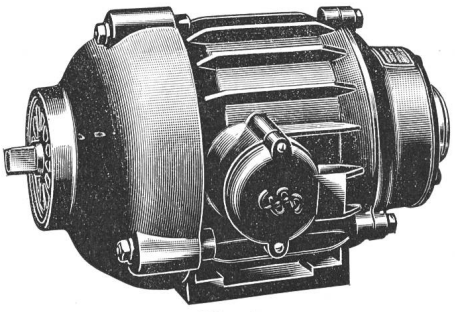

Fig. 3.
Mantelgekühlter Fräsmotor 2 kW; 7250 U/min.

bei Normalmotoren mit Rücksicht auf die zulässige Erwärmung, sondern es wird das zu erwartende höchste Arbeitsdrehmoment zugrunde gelegt.

Diese Verhältnisse sind auch für die zu wählende Schutzart mitbestimmend. Die geschützte Bauform hat sich bei den üblichen Drehzahlen für Holzbearbeitungsmaschinen bestens bewährt. Es wird der Luftstrom stets von der dem Werkzeug abgewendeten Seite angesaugt und in der Nähe des Werkzeuges ausgeblasen, so dass eine Verschmutzung verhindert wird. Auch werden die Eintrittsöffnungen gegen das Ein-

[1]) H. Trassl, Asynchrone Periodenumformer, Siemens Z. 1929, S. 666.

dringen grober Späne gesichert. Ein geringer Staubniederschlag lässt sich bei der geschützten Ausführung natürlich nicht ausschliessen. Bei sehr rasch laufenden Spindeln ist dies, wie später noch erläutert wird, hinsichtlich der Lagerung unerwünscht, so dass man für Fräsmotoren mit hoher Drehzahl zweckmässig die gekapselte (Fig. 2) oder mantelgekühlte (Fig. 3) Bauart wählt. Bei sachgemässer Durchbildung lässt sich, da nach den früheren Angaben die Grenzleistung nicht durch die Erwärmung, sondern durch das Kippmoment festgelegt wird, eine Vergrösserung des Motormodelles vermeiden.

Fräser sollen Fertigarbeit liefern, die keine Nacharbeit erfordert. Es muss daher auch bei kleinen Fräswerkzeugen eine ausreichende Schneidengeschwindigkeit und Schnittzahl gewährleistet sein. Der dadurch nötigen Steigerung der Drehzahl wird, abgesehen von der Festigkeit des Werkzeugbaustoffes, vorzugsweise durch die Tragfähigkeit der Lagerung eine Grenze gesetzt. Von besonderer Wichtigkeit ist daher die richtige Wahl und ein entsprechender Einbau der Wälzlager.

Die vielfach bei Frässpindeln mit Riementrieb verwendeten doppelreihigen selbsteinstellenden Radiallager, die infolge der hohlkugeligen Laufbahnen im Aussenring eine leichte Einstellbarkeit ermöglichen und daher Werkstatt- und Montageungenauigkeiten ausgleichen, haben sich bei höheren Drehzahlen nicht besonders bewährt. Nach verhältnismässig kurzer Laufzeit konnte schon eine Verdreifachung der Radialluft festgestellt werden. Auch zeigten sich, trotzdem eine

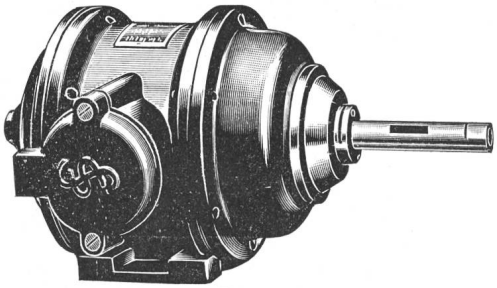

Fig. 4.
Fräsmotor mit Schaft 0,3 kW; 17 500 U/min.

Festspannung der Welle innerhalb der Lagerschilder nicht vorhanden war, in den Laufbahnen merkbare Rillen. Trotz der bei dieser Lagerbauart besonders für Fettschmierung vorteilhaften offenen Käfigkonstruktion, die dem Schmiermittel freien Zutritt zu den Kugeln und Laufbahnen gestattet, empfiehlt es sich, bei grossen Eigenfliehkräften der Kugeln von der Verwendung dieser Lagerbauart Abstand zu nehmen.

Gestanzte Blechkäfige sind tunlichst zu vermeiden, da bei Drehzahlen über 4500 U/min ein Springen der Käfige beobachtet wurde. Die Folge war eine bis auf kleine Einzelteile vollkommene Zerstörung des Käfigs. Die Kugeln selbst zeigten nur durch Verklemmungen mit den Käfigresten bedingte geringe Abplattungen. Das Fehlen von gebrochenen oder stark deformierten Wälzkörpern kennzeichnete deutlich die Fehlerursache und damit die Unzweckmässigkeit von gestanzten Blechkäfigen.

Sehr gute Resultate wurden mit einreihigen Radialkugellagern mit tiefer Laufrille ohne Einfüllöffnung und gefrästem bzw. gebohrtem Massivkäfig aus Stahl erzielt. Von der Verwendung von Bronzekäfigen wurde Abstand genommen, da bei diesem Material mit einer grösseren Abnützung gerechnet werden muss. Die Kugeln überziehen sich leicht mit Bronze und werden wegen der örtlich verschiedenen Abnützung in gewissem Masse unrund.

Besondere Beachtung erfordert auch die Schmierungsart. Die für Drehzahlen über 5000 U/min fast ausschliesslich verwendete Tropf- oder Oelumlaufschmierung kommt für Fräsmotoren weniger in Betracht. Abgesehen von der Möglichkeit des Oelaustrittes zwischen Welle und Gehäuse ist die Abhängigkeit von der Viskosität des Oeles sehr nachteilig. Es ist schwierig, eine Schmierungsart durchzubilden, die bei verschiedener Motordrehzahl und Drehrichtung befriedigend arbeitet. Ein Umstand, welcher besonders eine Oelschmierung erschwert, ist der, dass bei Fräsmotoren eine Aenderung der Motorlage möglich sein muss. Mit Rücksicht auf diese Forderungen ist es am zweckmässigsten, von einer Oelschmierung Abstand zu nehmen und als Schmiermittel eine geeignete Fettart zu wählen. Diese Lösung hat sich, eine richtige Bemessung vorausgesetzt, als durchaus betriebssicher erwiesen.

Bei Fettschmierung erheischt die Staubdichtung des Motors besondere Sorgfalt. Dringt in das Fett Holzstaub, so wird es griessig bzw. knollig, wodurch das Lager bei den hohen Drehzahlen rasch unbrauchbar wird. Dieser Zustand

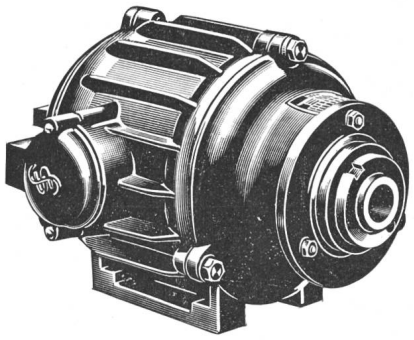

Fig. 5.
Fräsmotor mit Morsekegel und durchbohrter Welle 0,75 kW; 11 600 U/min.

ist daran zu erkennen, dass die Kugeln zu vibrieren beginnen und das Lager nicht mehr ruhig arbeitet. Um das Eindringen von Holzstaub zu verhindern, empfiehlt es sich, die Eintrittsöffnungen der Zuleitungen in das Motorinnere mit Kabelmasse luftdicht zu vergiessen. Ausserdem müssen Ringnuten oder noch besser Labyrinth-Dichtungen vorgesehen werden. Gegebenenfalls können auch die Verzahnungen und Aufsatzflächen der Lagerschilder mit Fett leicht bestrichen werden.

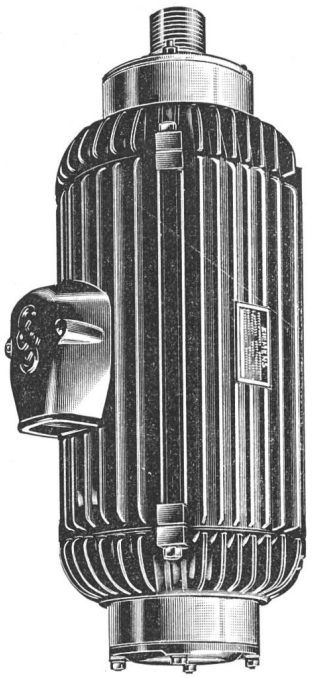

Fig. 6.
Fräsmotor mit Einspannhälsen 1,8 kW; 8600 U/min.

Wichtig ist natürlich auch eine sachgemässe Behandlung. Von einer Ueberfüllung des Lagerraumes ist unbedingt abzusehen. Empfehlenswert ist, nur etwa zwei Drittel des Lagerraumes zu füllen.

Ein weiterer Umstand, der bei Fräsmotoren erhöhte Aufmerksamkeit erfordert, ist das radiale und axiale Wellenspiel, besonders wenn die Arbeitsstücke unmittelbar von der Fräse der Politur überwiesen werden. Bei den geringsten Vibrationen tritt Wogenbildung auf, die ein Nachschleifen erforderlich macht; die Welle darf daher in den Lagern nur eine möglichst geringe Beweglichkeit besitzen. Zu diesem Zweck wird nicht nur der Innenring mit Preßsitz auf die Spindel montiert, auch der Aussenring muss einen festen Sitz im Gehäuse erhalten. Ein Mitdrehen des Aussenringes ist zu vermeiden. Ausserdem muss aber auch die Lagerluft möglichst klein sein. Es können daher nur äusserst genaue Lager Verwendung finden. Auch müssen bei Bearbeitung der Welle und der Lagergehäuse entsprechend geringe Toleranzen eingehalten werden. Selbstverständlich ist, dass die Maschinen vollkommen ausbalanciert sind. Dies gilt auch vom Fräs-

messer. Denn nicht ausgewuchtete Werkzeuge tragen zum unruhigen Gang des Motors und raschen Lagerverschleiss sehr bei.

Hinsichtlich der Werkzeugbefestigung sind verschiedene Ausführungsformen gangbar. Fig. 4 zeigt eine Befestigungsart, die den Vorzug grösster Einfachheit hat. Es wurde nur ein glatter Schaft vorgesehen, auf dem das Werkzeug einfach aufgesteckt und mit Schraube festgehalten wird. Fig. 5 veranschaulicht eine grundsätzlich andere Lösung. Hier wird der Fräsdorn, also jener Teil, der das Werkzeug aufzunehmen hat, in die Motorwelle, welche mit einem Innenkonus ausgestattet ist, eingeführt und mit einer durchlaufenden Spindel, die ein Gewinde besitzt, festgezogen. Die Rotorwelle ist axial durchbohrt. Die Morsekegelverbindung hat den Vorteil, dass eine Beschädigung des Wellenstumpfes, welche die Motorwelle bzw. den ganzen Anker unbrauchbar machen kann, vermieden ist. Der Konus wird geschliffen, um einen einwandfreien Sitz über die ganze Länge zu gewährleisten. Auch lassen sich dadurch Tiefenabweichungen auf das kleinstmögliche Mass herabdrücken. Bei der geringsten Ungleichmässigkeit in der konischen Wellenbohrung ist eine unveränderte Höhenlage der verschiedenen Fräser nicht mehr zu erzielen. Es muss dann durch entsprechende Einstellung des Motorschlittens immer wieder die richtige Lage des Werkzeuges erreicht werden.

Die Fräsmotoren sind im Bau sehr gedrängt gehalten, um ein leichtes Unterbringen zu ermöglichen. Zur Befestigung ist eine Anbaufläche vorgesehen. Gebräuchlich sind auch Einspannhälse für einen rohrschellenartigen Einbau (Fig. 6). Es kann der Fräsmotor auch mit Führungsleisten versehen werden, so dass ein besonderer Schlitten entbehrt werden kann.

Die gezeigten Sondermotoren eignen sich in erster Linie für den Umbau schon vorhandener Riemenfräsmaschinen. Durch eine entsprechende Aenderung des Schlittens lässt sich fast in allen Fällen ein allen Anforderungen gerecht werdender Einzelantrieb erreichen.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Eine tragbare Stromwandler-Prüfungseinrichtung hoher Genauigkeit [1]).

621.317.089.6 : 621.314.224.08

1. Grundsätzliches.

Die von Hohle in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt entwickelte Kompensationsschaltung zur Messung der Fehlwinkel und Uebersetzungsfehler an Stromwandlern stellt eine neue Variante der bereits bekannten Differentialschaltung dar. Das Prinzip dieser Schaltung geht aus der Fig. 1 hervor. In der Querverbindung fliesst der Differenzstrom $\Im_{2N} - \Im_{2X}$. Durch die vektorielle Schreibweise ist der geometrische Sinn der Grössen zum Audruck gebracht. Voraussetzung ist, dass der Normalstromwandler fehlerfrei oder nahezu fehlerfrei ist. Der Strom $\Im_{2N}$ ersetzt als Bezugsgrösse den Primärstrom, und der Strom $\Im_{2N} - \Im_{2X}$ ist der Leerlaufstrom des zu messenden Wandlers. Natürlich muss der Widerstand der Querverbindung klein sein. Genauer ausgedrückt, es muss der Spannungsabfall an der Querverbindung im Vergleich zum Spannungsabfall an der Bürde klein sein. Bei einem Querwiderstand von 1 Ohm ergibt sich wegen des geringen Betrages des Leerlaufstroms (z. B. 100 mA) ein zusätzlicher Spannungsabfall von 0,1 V, was bei 15 VA Belastung eine Bürdeverschiebung von 0,5 VA zur

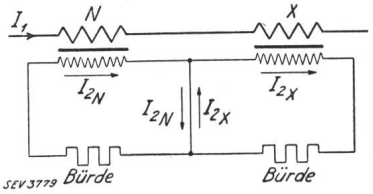

Fig. 1 (oben).
Differentialschaltung.
X Zu prüfender Wandler.
N Normalwandler.

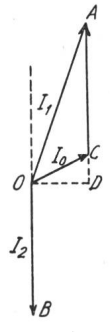

Fig. 2 (rechts).
Stromwandler-Diagramm.

Folge hat. Abgesehen von dieser Minuskorrektur der Bürde des zu untersuchenden Stromwandlers ergibt die Schaltung nach Fig. 1 eine richtige Abspiegelung des Stromwandlerdiagrammes. Bekanntlich kann man durch Aufteilung des Leerlaufstromes in Komponenten die Fehlergrössen erfassen. Im Stromwandlerdiagramm Fig. 2 wird durch die Komponente OD der Fehlwinkel, durch die Komponente CD der Stromfehler ermittelt. Im Querwiderstand der Schaltung nach Fig. 1 fliesst der Leerlaufstrom des zu untersuchenden Wandlers, wenn die Annahme gemacht wird, dass der Normalwandler den Sollwert des Sekundärstromes führt. Man sieht hieraus, dass die Fehlerbestimmung nur auf die Ermittlung der beiden Komponenten des Stromes in der Querverbindung hinausläuft. Die von Hohle entwickelte Schaltung sieht einen Kompensationskreis nach Fig. 3 vor. Entsprechend der Aufteilung des Leerlaufstromes in CD und OD in Fig. 2 wird für den Stromfehler eine Schleifdrahtspannung, für den Fehlwinkel eine Spannung an einer gegenseitigen Induktivität als Kompensationsspannung eingeführt. Wie aus Fig. 3 ersichtlich, wird in der Querverbindung ein Ohmscher Widerstand *r* eingebaut. Die Spannung an diesem Widerstand

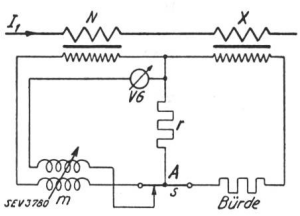

Fig. 3.
Differentialschaltung mit Kompensationskreis.

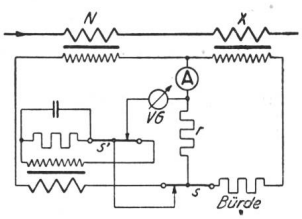

Fig. 4.
Ausgeführte Prüfschaltung.

wird durch Spannungen, die vom Sekundärkreis des Normalwandlers erzeugt werden, kompensiert. Der Ohmsche Spannungsabfall wird in einem Schleifdraht, dessen Widerstand *s* mit einem Schleifkontakt reguliert wird, vom Strom direkt erzeugt, während der induktive Spannungsabfall indirekt und stromlos an einer regelbaren, gegenseitigen Induktivität durch die Einstellung der Impedanz $\omega \cdot m$ erzeugt wird. Die Stromlosigkeit wird durch das Vibrationsgalvanometer VG im Kompensationskreis angezeigt. Eine im ersten Moment als ungünstig erscheinende Tatsache, nämlich, dass die Widerstände *r* und *s*, bzw. die Primärspule der gegenseitigen Induktivität *m*, verschiedene Ströme führen und deshalb miteinander nicht verglichen werden können, führt tatsächlich zur Elimination der Stromwerte. Man erhält bei zulässigen Vernachlässigungen unendlich kleiner Grössen zweiter Ordnung und bei der Annahme, dass der ganze Kompensationskreis vom Fehlerstrom $\Im_{2N} - \Im_{2X}$ durchflossen wird, folgende Ausdrücke für den Stromfehler f_s und den Fehlwinkel δ.

$$f_s = \frac{\frac{s}{r}\,(\Im_{2N} - \Im_{2X})}{\Im_{2N}}\ 100\ \%$$

$$\delta = \frac{\frac{\omega m}{r}\,(\Im_{2N} - \Im_{2X})}{\Im_{2N}\ 0{,}000291}\ \text{in Minuten}$$

Nun ist aber der Strom, der durch *s* fliesst und den Spannungsabfall an der Gegeninduktivität *m* bestimmt, im Ver-

[1]) Arch. Elektrotechn., 1933, Heft 12, S. 849.