

$$I = \frac{U}{R}$$

$$\Phi = \frac{\Theta}{R_m}$$

$$P = U \cdot I$$

$$\Theta = I \cdot N$$

Technische Erläuterungen



Wir entwickeln Lösungen!

Kendrion entwickelt, fertigt und vermarktet hochwertige elektromagnetische und mechatronische Komponenten und Systeme für Industrie- und Automotive-Anwendungen. Bereits seit mehr als einem Jahrhundert konstruieren wir Präzisionsteile für weltweit tätige Innovationsführer in den Bereichen PKW, Nutzfahrzeuge und Industrie.

Als Technologievorreiter erfinden, entwickeln und produzieren wir sowohl komplexe Komponenten und maßgeschneiderte Systeme als auch marktspezifische Lösungen. Kendrion nimmt seine Verpflichtung im Hinblick auf die technischen Herausforderungen der Zukunft sehr ernst. Aus diesem Grund sind der verantwortungsvolle Umgang mit Ressourcen entlang der gesamten Wertschöpfungskette sowie ein vertrauenswürdiges Geschäftsgebaren tief in der Unternehmenskultur verankert. Heute sind wir als kompetenter Partner mit deutschen Wurzeln und Sitz in den Niederlanden in ganz Europa, Nord- und Südamerika sowie Asien vertreten. Mit Leidenschaft geschaffen, mit Präzision entwickelt.

In der Business Unit **Industrial Magnetic Systems (IMS)** liegt der Fokus auf elektromagnetischen Aktuatoren und mechatronischen Baugruppen für Anwendungen beispielsweise in der Energietechnik, Sicherheitstechnik sowie Maschinenbau und Automatisierungstechnik. Mit der Erfahrung der Traditionsmarken Binder, Neue Hahn Magnet und Thoma Magnettechnik sind wir in unseren Märkten als Branchenexperte mit hoher technischer Kompetenz erfolgreich.

Wir bieten Ihnen sowohl kundenspezifische als auch standardisierte Produkte. Unsere Baugruppen bauen auf leistungsstarken und zuverlässigen Hub-, Haft-, Verriegelungs-, Spreiz-, Steuer-, Dreh- und Schwingmagneten sowie Magnetventilen auf.

Dabei denken wir immer in Lösungen.

Unsere Stärke sind die Neuentwicklungen für unsere Kunden. Unsere Ingenieure sind Spezialisten für innovative Produkte mit optimalen technischen Eigenschaften. Außerdem entwickeln wir mechanische Baugruppen, moderne Ansteuerungselektronik sowie Sensorik nach Ihren Anforderungen.

Unsere Produkte werden in Deutschland in den Stammhäusern Donaueschingen und Engelswies gefertigt sowie in den USA, China und Rumänien. Damit ermöglichen wir unseren international agierenden Kunden eine effiziente Projektabwicklung und bedarfsnahe Belieferung.

Durch segmentierte Fertigungsbereiche können wir sowohl kleine Stückzahlen als auch Großserien mit optimalem Automatisierungsgrad umsetzen.

Dabei garantieren wir höchste Qualität. Alle Produkte sind nach der Norm DIN VDE 0580 für elektromagnetische Geräte und Komponenten oder nach branchenspezifischen Standards unserer Kunden geprüft und entwickelt. In vielen Fällen werden unsere Produkte von externen Gesellschaften geprüft und zertifiziert, beispielsweise nach den CSA-, VdS- und ATEX-Richtlinien. Unser Qualitätsmanagementsystem ist nach DIN EN ISO 9001 zertifiziert und unser Umweltmanagementsystem erfüllt die ISO 14001-Norm.

Mit unseren Tochtergesellschaften in Österreich, Italien, USA und China und unserem weltweiten Vertriebsnetz sind wir Ihr idealer Partner vor Ort.

Kendrion – We magnetise the world

www.kendrion.com

Inhalt

1. Allgemeine Erläuterungen und Begriffsbestimmungen	
1.1. Aus welchen Bauteilen besteht ein Elektromagnet?	4
1.2. Welche unterschiedlichen Magnettypen gibt es?.....	4
1.3. Welche Größen definieren die Kennlinie des Elektromagneten?	5
1.4. Wie sieht eine charakteristische Hub-Kraftkennlinie eines Elektromagneten aus?	5
1.5. Wie wird die Hubarbeit berechnet?.....	5
1.6. Welche Zeitbegriffe sind für den Betrieb von Elektromagneten relevant?	5
1.7. Welche elektrischen Begriffe sind für den Betrieb von Elektromagneten relevant?	6
1.8. Welches sind die geltenden Normen von Elektromagneten?	6
1.9. Wie erfolgt die Stromversorgung der Elektromagnete?	7
1.10. Warum ist die maximale Einschaltdauer beim Betrieb eines Elektromagneten zu beachten?	8
1.11. Welches sind Kenngrößen von Magnetkreisen?.....	8
1.12. Auf was muss bei der Verwendung der Kendrion-Elektromagnete geachtet werden?	9
1.13. Anwendungssicherheit und Wartung	10
1.14. Richtlinien – CE-Kennzeichnung	10
2. Technische Erläuterungen zu Haftmagneten	
2.1. Allgemein.....	13
2.2. Kräfte	13
2.3 Einflussfaktoren auf Haftkraft	13
2.4 Besondere Verwendungen.....	15
2.5 Spezielle Eigenschaften von Permanent-Elektro-Haftmagneten	15
3. Technische Erläuterungen zu Betätigungsmagneten	
3.1. Allgemein.....	16
3.2. Funktion der Betätigungsmagnete.....	16
3.3. Ansteuerverfahren für Betätigungsmagnete	17
3.4. Prüfung der Betätigungsmagnete	20
4. Technische Erläuterungen zu Schwingmagneten	
4.1. Allgemeine Beschreibung der Schwingmagnete	21
4.2. Begriffe	21
4.3. Bauformen und Anwendungen von Kendrion Schwingantrieben	22
4.4. Abstimmung der Gerätetypen auf den Einsatzfall.....	25
4.5. Ansteuergeräte für Schwingmagnete	27
5. Formelzeichen und SI-Einheiten	29
6. Quellenverzeichnis.....	29

1. Allgemeine Erläuterungen und Begriffsbestimmungen

1.1. Aus welchen Bauteilen besteht ein Elektromagnet?

Magnetkörper

Teil, das die Erregerwicklung enthält und den magnetischen Fluss leitet (Auch: Magnetgehäuse).

Erregerwicklung

Wicklung zur Erzeugung eines magnetischen Feldes (Auch: Magnetspule, Spule, Wicklung).

Erregersystem

Baugruppe bestehend aus Magnetkörper und Erregerwicklung.

Spannungswicklung

Erregerwicklung, bei der sich ein Strom einstellt, der von der Versorgungsspannung und dem Erregerwicklungswiderstand abhängig ist.

Stromwicklung

Erregerwicklung, bei der der Strom von vorgeschalteten Betriebsmitteln bestimmt wird, also vom Erregerwicklungswiderstand im Wesentlichen unabhängig ist (z.B. Stromregelung).

Anker

Durch das Magnetfeld bewegte oder gehaltene magnetisch leitende Teile.

1.2. Welche unterschiedlichen Magnettypen gibt es?

Betätigungsmagnet

Komponente zur Ausübung einer begrenzten Längs- oder Drehbewegung.

Hubmagnet

Betätigungsmagnet, bei dem eine Hubbewegung durch die Wirkung eines von der Erregerwicklung erzeugten magnetischen Feldes ausgelöst wird (Auch: Einfachhubmagnet).

Drehmagnet

Betätigungsmagnet, bei dem eine Drehbewegung durch die Wirkung eines von der Erregerwicklung erzeugten magnetischen Feldes ausgelöst wird. Drehmagnete können hinsichtlich ihrer Funktionalität als Einfachhub- oder Umkehrhub-Drehmagnet mit einer oder beiden stromlos gehaltenen Endlagen ausgeführt werden (monostabil-bistabil).

Schwingmagnet

Betätigungsmagnet, bei dem eine periodische, hin- und hergehende Bewegung in einem Feder-Masse-System, mit einer Schwingfrequenz, die im Allgemeinen in einem festen Verhältnis zur Frequenz der angelegten Spannung steht, durch die Wirkung eines von der Erregerwicklung erzeugten magnetischen Feldes ausgelöst wird.

Haltemagnet, Haftmagnet

Gerät oder Komponente zum Festhalten von ferromagnetischen Gegenständen.

Umkehrhubmagnet

Ein Betätigungsmagnet mit elektromagnetischer Kraftwirkung in zwei Bewegungsrichtungen. Die Hubbewegung erfolgt je nach Erregung von der jeweiligen Hubanfangslage in die zugehörige Hubendlage. Dabei ist die Hubendlage der einen Richtung gleichzeitig die Hubanfangslage für die entgegengesetzte Bewegungsrichtung.

Einfachhub-Spreizmagnet

Ein Hubmagnet, der durch seinen Aufbau und seine technischen Daten vornehmlich zum Lüften von Backenbremsen verwendet wird.

Einfachhub-Doppelspreizmagnet

Ein aus zwei Einfachhub-Spreizmagneten bestehender Hubmagnet, der durch seinen Aufbau und seine technischen Daten vornehmlich zum Lüften von Backenbremsen verwendet wird.

Ziehende und drückende Ausführung (Bild 1)

Kendrion Betätigungsmagnete können hinsichtlich der erzeugten Bewegung in drei Varianten eingeteilt werden: ziehend, drückend sowie ziehend und drückend. Das betrifft sowohl Hubmagnete als auch Drehmagnete.

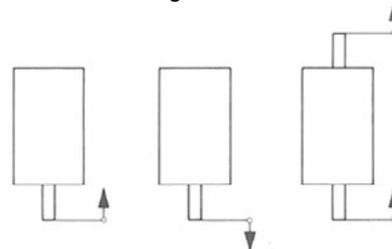


Bild 1 von links nach rechts: Ziehende, drückende, ziehende und drückende Ausführung von Einfachhubmagneten

Impulshubmagnet

Ein Gerät, bei dem durch die elektromagnetische Kraftwirkung die Hubbewegung des Ankers von der Hubanfangslage in die Hubendlage erfolgt, in welcher der Anker bei ausgeschaltetem Strom durch einen eingebauten Permanentmagneten gehalten wird.

Steuermagnet, Proportionalmagnet, Regelmagnet

Hubmagnete, die durch ihren Aufbau und ihre technischen Daten vornehmlich zum Betätigen von Ventilen in der hydraulischen Steuerungs- bzw. Regelungstechnik verwendet werden.

Ventilmagnet

Ein Hubmagnet, der durch seinen Aufbau und seine technischen Daten vornehmlich zum Betätigen von Ventilen in der pneumatischen und hydraulischen Steuerungstechnik verwendet wird.

Einfachhubmagnet mit Klappanker

Ein Hubmagnet, bei dem der Anker eine Schwenkbewegung um einen Drehpunkt ausführt.

1.3. Welche Größen definieren die Kennlinie des Elektromagneten?

Magnetkraft F

Der ausnutzbare, also um die Reibung verminderte, Teil der im Betätigungsmagneten in Hubrichtung erzeugten Kraft.

Hubkraft F_{Hub}

Die Magnetkraft, die unter Berücksichtigung der zugehörigen Komponente des Ankergewichtes nach außen wirkt. Bei waagrechtem Einbau ist die Hubkraft gleich der Magnetkraft.

Haltekraft F_{H}

Bei Gleichstrom-Betätigungsmagneten die Magnetkraft in der Hubendlage. Bei Wechselstrommagneten der Mittelwert der periodisch mit dem Wechselstrom schwankenden Magnetkraft in Hubendlage.

Resthaltekraft

Die nach dem Ausschalten verbleibende Haltekraft.

Rückstellkraft

Die nach dem Ausschalten zur Rückführung des Ankers in die Hubanfangslage erforderliche Kraft. (Bei Drehmagneten entspricht die Kraft das Drehmoment)

Magnethub s

Der vom Anker zwischen Hubanfangslage und Hubendlage zurückgelegte Weg.

Hubanfangslage s_1

Die Lage des Ankers vor Beginn der Hubbewegung bzw. nach Beendigung der Rückstellung.

Hubendlage s_2

Die im Magnet konstruktiv festgelegte Stellung des Ankers nach Beendigung der Hubbewegung.

1.4. Wie sieht eine charakteristische Hub-Kraftkennlinie eines Elektromagneten aus?

Magnetkraft-Hub-Kennlinie

Die grafische Darstellung der Magnetkraft in Abhängigkeit vom Magnethub. Man unterscheidet drei charakteristische Kennlinien in Richtung zur Hubendlage (Bild 2).

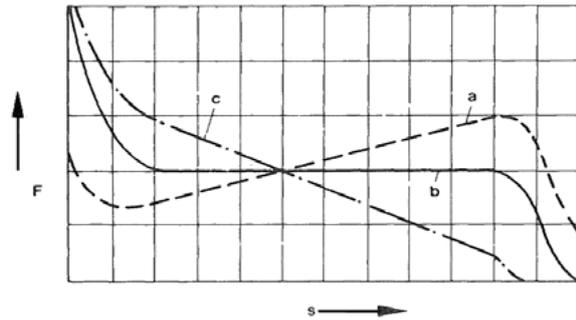


Bild 2 Magnetkraft- Hub- Kennlinien.

a fallende Kennlinie b waagerechte Kennlinie
c ansteigende Kennlinie s Magnethub
F Magnetkraft

1.5. Wie wird die Hubarbeit berechnet?

Hubarbeit W

Das Integral der Magnetkraft F über dem Magnethub s .

$$W = \int_{s_2}^{s_1} F ds$$

Die Hubarbeit setzt sich zusammen aus einem potentiellen Hubarbeitsanteil W_1 und einem kinetischen Hubarbeitsanteil W_2 (Bild 3).

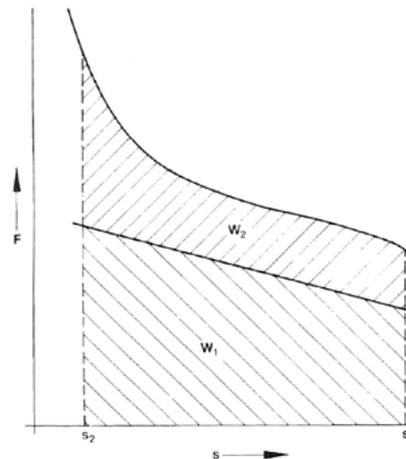


Bild 3 Hubarbeit bei proportional veränderlicher Gegenkraft (z.B. Feder)

F Magnetkraft s Magnethub
 s_1 Hubanfangslage s_2 Hubendlage
 W_1 statischer Hubarbeitsanteil F_{F1} Federkraft
 W_2 kinetischer Hubarbeitsanteil F_{F2} Federkraft

1.6. Welche Zeitbegriffe sind für den Betrieb von Elektromagneten relevant?

Ansprechverzug t_{11}

Die Zeit vom Einschalten des Erregerstromes bis zum Beginn der Ankerbewegung.

Hubzeit t_{12}

Die Zeit von Beginn der Ankerbewegung aus der Hubanfangslage bis zum Erreichen der Hubendlage.

Anzugszeit t_1

Die Zeit vom Einschalten des Erregerstromes bis zum Erreichen der Hubendlage. Die Summe aus Ansprechverzug t_{11} und Hubzeit t_{12} .

Abfallverzug t_{21}

Die Zeit vom Ausschalten des Erregerstromes bis zum Beginn der Rücklaufbewegung des Ankers.

Rücklaufzeit t_{22}

Die Zeit vom Beginn der Rücklaufbewegung des Ankers bis zum Erreichen der Hubanfangslage.

Abfallzeit t_2

Die Zeit vom Ausschalten des Erregerstromes bis zum Erreichen der Hubanfangslage. Summe aus Abfallverzug t_{21} und Rücklaufzeit t_{22} .

1.7. Welche elektrischen Begriffe sind für den Betrieb von Elektromagneten relevant?

Anzugsstrom

Bei Wechselstromgeräten der Strom, der sich bei Erregung einstellt, wenn der Anker in der Hubanfangslage festgehalten wird und der Ausgleichsvorgang abgeklungen ist.

Nennspannung U_N

Wert der elektrischen Spannung, die vom Hersteller für ein Gerät oder eine Komponente angegeben wird und auf den sich Betriebs- und Leistungsmerkmale beziehen.

Vorzugs-Nennspannung

Nennspannung, mit der die Geräte meist ab Lager verfügbar sind.

Nennstrom I_N

Der vom Hersteller dem Gerät oder der Komponente zur Bezeichnung oder Identifizierung zugeordnete Versorgungsstrom bei Stromgeräten. Bei Spannungswicklungen allgemein auch die Stromaufnahme unter Nennbedingungen. Bei Wechselspannungswicklungen der Strom, der sich bei Nennbedingungen als Haltestrom einstellt, wenn der Anker sich in Hubendlage befindet.

Haltestrom I_H

Bei Wechselspannungsgeräten oder -komponenten der Strom, der sich bei Erregung mit Nennspannung einstellt, wenn sich der Anker in Hubendlage befindet und der Ausgleichsvorgang abgeklungen ist.

Einschaltstrom I_E

Bei Wechselspannungsgeräten und -komponenten der Strom, der sich bei Erregung mit Nennspannung einstellt, wenn der Anker in Hubanfangslage festgehalten wird und der Ausgleichsvorgang abgeklungen ist.

Nennleistung P_N

Geeigneter gerundeter Wert der Leistung zur Bezeichnung und Identifizierung des Gerätes oder der Komponente. Allgemein auch Leistungsaufnahme bei Nennbedingungen (20° Spulentemperatur).

Halteleistung

Bei Wechselspannungsgeräten oder -komponenten das Produkt aus Nennspannung und Haltestrom.

Isolierstoffklasse

Einteilung der Isolierstoffe für Wicklungen bezüglich ihrer Grenztemperatur in thermische Klassen gemäß DIN EN 60085.

Wärme-klasse	Grenztemperatur °C	Grenzüber-temperatur °C
Y	90	50
A	105	65
E	120	80
B	130	90
F	155	115
H	180	140

Tabelle 1

Schutzklasse

Klassifizierung von Geräten hinsichtlich der Maßnahmen zum Schutz vor elektrischem Schlag gemäß DIN EN 61140.

IP-Schutzart

Umfang des Schutzes des elektromagnetischen Gerätes gegen direktes Berühren bzw. gegen Eindringen von festen Fremdkörpern oder Wasser.

Angabe als IP-Code nach DIN EN 60529.

1.8. Welches sind die geltenden Normen von Elektromagneten?

Wenn nichts Besonderes vereinbart wird, sind Betätigungsmagnete im Allgemeinen nach DIN VDE 0580 geprüft und gebaut. Die Schutzarten der Geräte und der elektrischen Anschlüsse entsprechen DIN EN 60529. Davon abweichende sowie spezielle projektspezifische Anforderungen an die Geräte (Korrosionsschutz, Betriebsart, Umgebungsbedingungen usw.) müssen besonders vereinbart werden.

Normale Betriebsbedingungen**(DIN VDE 0580:2011-11, Abschnitt 4.2. und 4.3.)**

Die Umgebungstemperatur überschreitet nicht 40° C und ihr Mittelwert über eine Dauer von 24 Stunden nicht 35° C. Die untere Grenze für die Umgebungstemperatur ist -5° C. Die Höhenlage des Verwendungsortes beträgt nicht mehr als 1000 m über dem Meeresspiegel. Die relative Feuchtigkeit der Umgebungsluft soll 50% bei 40°C nicht überschreiten. Bei geringeren Temperaturen können höhere Luftfeuchtigkeiten zugelassen werden, z.B. 90% bei 20° C. Gelegentlich bildet sich mäßiges Kondenswasser. Die Umgebungsluft soll nicht wesentlich durch Staub, Rauch, aggressive Gase und Dämpfe verunreinigt sein.

1.9. Wie erfolgt die Stromversorgung der Elektromagnete?

Elektrischer Anschluss

Die Geräte dürfen nur an die vorgesehene Stromversorgung (Gleich- oder Wechselstrom) mit der auf dem Typenschild angegebenen Spannung angeschlossen werden. Es bestehen verschiedene Anschlussmöglichkeiten, z.B. freie Drahtenden, Klemmen oder Steckeranschluss.

Bei Geräten der Schutzklasse I, an denen im Auslieferungszustand kein Schutzleiteranschluss vorgesehen ist, muss die Schutzleiterverbindung nach VDE 0100 vom Anwender an gut leitenden mit dem Elektromagnet verbundenen Metallteilen sichergestellt werden. Die Vorzugs-Nennspannung kann den Einzelkatalogen entnommen werden.

Gleichrichter

Betätigungsmagnete für Gleichstrom müssen für sicheren Betrieb an geeignete Gleichspannungsquellen angeschlossen werden. Insbesondere Nennspannung und Nennleistung der Gleichspannungsquellen müssen den erforderlichen Werten entsprechen. Bei Verwendung von Einweggleichrichtern kann es auf Grund der Welligkeit des Stromes bei hohen Haltekraftanforderungen zu Brummgeräuschen kommen. Im Zweifelsfall sollten Brückengleichrichter eingesetzt werden. Werden Schaltnetzteile verwendet, müssen diese für den Betrieb mit induktiven Lasten geeignet sein.

Kendron bietet Gleichrichter mit Einweg- und/oder Brückengleichrichtung an. (Bitte Rückfrage)

Schalten von Elektromagneten

Die Stromversorgung für Elektromagnete kann auf der Gleichstromseite oder auf der Wechselstromseite geschaltet werden. Bei wechselstromseitigem Schalten der Betätigungsmagnete (Bild 4) ist die besonders lange Ausschaltverzugszeit t_{21} beim Ausschalten zu beachten. Bei gleichstromseitigem Schalten (Bild 5) tritt nur ein geringer Ausschaltverzug auf, allerdings kommt es zu einer kurzzeitigen Überspannung. Ihre Höhe hängt von der Gerätenennspannung, der elektrischen Stromversorgung und der Öffnungsgeschwindigkeit des Schaltgeräts ab. Sie können bei 24V - max. 0,6 kV, bei 110V – ca. 2 kV und bei 230 V – ca. 4 kV betragen.

Der Anwender muss Sorge tragen, dass die Abschaltspannungsspitzen keinen Schaden am Schaltgerät (Lichtbogen) bzw. am Elektromagneten verursachen.

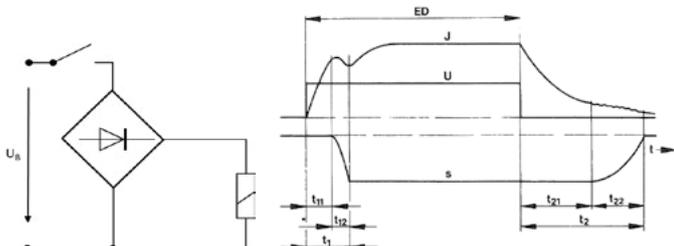


Bild 4 Wechselstromseitige Schaltung

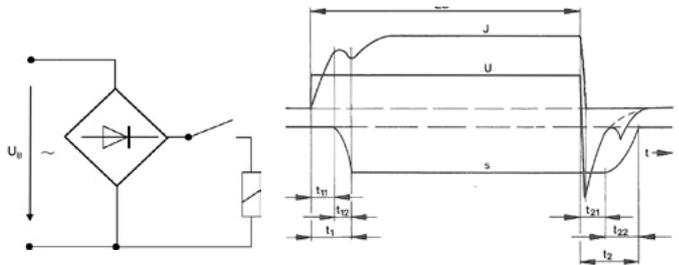


Bild 5 Gleichstromseitige Schaltung

ED	Einschaltdauer	I	Strom
U	Spannung	s	Magnethub
t_1	Anzugszeit	t_{11}	Ansprechverzug
t_{12}	Hubzeit	t_2	Abfallzeit
t_{21}	Abfallverzug	t_{22}	Rücklaufzeit

Schutzmaßnahmen gegen Abschaltspannungsspitzen

Durch Begrenzung der beim gleichstromseitigen Ausschalten entstehenden Abschaltüberspannung auf eine für Betätigungsmagnet, Gleichrichter und Schalter unschädliche Größe, ist eine sichere und unproblematische Schaltung gewährleistet. Als Schutzmittel kommen ohmsche Widerstände, Varistoren, Dioden, Z-Dioden usw. in Frage. Siehe Bild 6 Figuren a bis d.

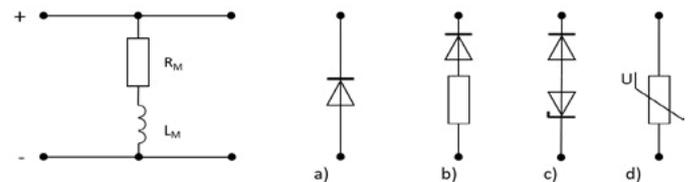


Bild 6 Schutzbeschaltung für Elektromagnete

- a) Freilaufdiode
- b) Diode mit Widerstand
- c) Diode mit Z-Diode
- d) Varistor

L_M Induktivität des Elektromagneten

R_M ohmscher Widerstand des Elektromagneten

Die Freilaufdiode (Bild 6 a) verhindert das Entstehen der Abschaltspannungsspitze vollständig. Die Abklingzeit des Stromes t_0 (bis der Strom in der Spule auf 5% des Wertes vor dem Abschalten gefallen ist) berechnet sich mit

$$t_0 \approx 3T_M, \text{ mit } T_M = \frac{L_M}{R_M}, \text{ die Abschaltspannungsspitze ist } U_{smax} \approx 0$$

Diese Schutzbeschaltung ist als Entstörung besonders wirksam, erhöht aber die Abschaltzeit t_2 des Magneten erheblich. Der Abschaltvorgang entspricht ungefähr dem bei wechselstromseitiger Schaltung.

Die **Diode mit Widerstand** (Bild 6 b) begrenzt die Abschaltspannungsspitze effektiv abhängig von der Größe des Widerstands. Es gilt: je größer der Widerstand, desto höher die verbleibende Abschaltspannung desto schneller der Stromabfall.

$$t_0 \approx \frac{T_M}{(1 + R/R_M)}, \text{ mit } T_M = \frac{L_M}{R_M}, U_{smax} = -\frac{U_n R}{R_M}$$

Die Entstörawirkung ist gut und einfach anpassbar, diese Variante wird häufig angewandt.

Wird eine **Diode mit Z-Diode verwendet** (Bild 6 c) begrenzt dies die Abschaltspannung $U_{smax} = -U_z$.

Hierbei gilt ebenfalls: je größer die erlaubte Abschaltspannung,

desto kürzer die Abschaltzeit. Diese Beschaltung findet für Kleinmagnete häufig Anwendung.

Bei Beschaltung mit einem **Varistor** (Bild 6 d) wird ebenfalls eine sehr gute Entstörung erzielt, die Spannungsspitze hängt vom Nennwert und der Charakteristik des Varistors ab.

1.10. Warum ist die maximale Einschaltdauer beim Betrieb eines Elektromagneten zu beachten?

Einschaltdauer

Die Zeit, die zwischen dem Einschalten und dem Ausschalten des Erregerstromes liegt.

Stromlose Pause

Die Zeit, die zwischen dem Ausschalten und dem Wiedereinschalten des Erregerstromes liegt.

Spieldauer

Die Summe aus Einschaltdauer und stromloser Pause.

Spießfolge

Eine einmalig oder periodisch wiederkehrende Aneinanderreihung von Spieldauerwerten verschiedener Größe.

Dauerbetrieb

Betrieb, bei dem die Einschaltdauer so lang ist, dass die Beharrungstemperatur erreicht wird.

Kurzzeitbetrieb S_2

Betrieb, bei dem die Einschaltdauer so kurz ist, dass die Beharrungstemperatur nicht erreicht wird, und die stromlose Pause so lang ist, dass sich das Gerät auf Umgebungstemperatur abkühlt (Toleranz 2K).

Aussetzbetrieb S_3

Betrieb, bei dem die Einschaltdauer und die stromlose Pause in regelmäßiger Folge wechseln, wobei die Pausen so kurz sind, dass sich das Gerät nicht auf die Umgebungstemperatur abkühlt.

Relative Einschaltdauer

$$\text{rel. ED} = \frac{\text{Einschaltdauer}}{\text{Spieldauer}} \cdot 100 \quad \text{in\%}$$

Die Katalogangaben für die relative Einschaltdauer der Kendrion Magnete beziehen sich, soweit nicht anders angegeben, auf eine Spieldauer von 5 Minuten.

Die maximale Einschaltdauer ergibt sich daraus für die verschiedenen relativen ED zu:

40%	ED max. 120 s
25%	ED max. 75 s
15%	ED max. 45 s
5%	ED max. 15 s

Diese Maximalwerte dürfen nicht überschritten werden. Im Zweifelsfall muss bei der Anwendung die jeweils längere relative ED eingesetzt werden.

Schaltzahl z

Die Anzahl der Arbeitsspiele.

Schalhäufigkeit Z

Die Schaltzahl je Stunde.

Betriebswarmer Zustand

Die nach VDE 0580 ermittelte Übertemperatur, vermehrt um die Umgebungstemperatur. Wenn nichts anderes angegeben ist, gilt als Umgebungstemperatur 35°C.

Abweichende Bezugstemperatur

Unsere Magnete sind auch bei abweichenden Bezugstemperaturen einsetzbar, wenn die zulässige ED mit dem entsprechenden Umrechnungsfaktor multipliziert wird. Die bei betriebswarmer Wicklung abgegebene Hubarbeit wird dadurch nicht beeinflusst. Das Diagramm (Bild 7) dient der Ermittlung der relativen Einschaltdauer bei abweichenden Bezugstemperaturen.

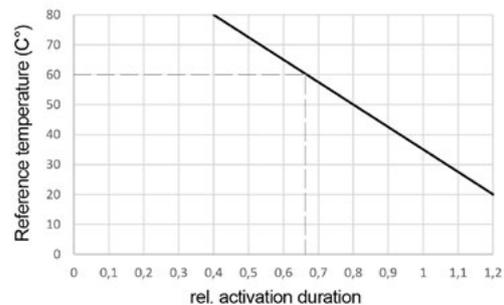


Bild 7 Relative Einschaltdauer bei abweichenden Bezugstemperaturen

Erwärmung

Infolge der Eingangsleistung der Erregerwicklung tritt eine Erwärmung der Elektromagnete ein. Sie kann bis zur Grenze der zugrunde gelegten Isolierstoffklasse gehen, z.B. bei Klasse E 120°C, wenn man die Wärmeabgabe an die Maschine/Anlage vernachlässigt. Kraftangaben in den Kendrion-Katalogen beziehen sich immer auf den betriebswarmen Zustand. Im Normalfall kann ein Teil der Wärme über die mechanische Befestigung an die Maschine/Anlage abgeleitet werden, was zu einer Verringerung der Eigenerwärmung führt.

Wird aus der Umgebung zusätzliche Wärme aus anderen Quellen zugeführt, so muss immer die maximal zulässige Spulentemperatur t_s Isolierstoffklasse eingehalten werden.

1.11. Welches sind Kenngrößen von Magnetkreisen?

Magnetische Remanenz

Wird ein ferromagnetisches Bauteil magnetisiert, so bleibt nach Abschalten der Anregung ein Anteil der Magnetisierung im Material bestehen. Dieser Zustand wird als Remanenz bzw. Restmagnetismus bezeichnet. Vereinfacht gesprochen kann man davon ausgehen, daß sich die meisten magnetisierbaren Materialien verhalten, als wären sie schwache Dauermagnete. Die Remanenz bestimmt die Resthaftkraft. Nach einmaligem Abreißen des Werkstücks von der Haftfläche verschwindet die

Remanenz jedoch weitgehend. Je größer der Luftspalt δ_L , desto geringer ist die zu erwartende Remanenz und die Resthaftkraft

Permeabilität μ

Gibt die Durchlässigkeit eines Materials für magnetische Felder an. Die relative Permeabilität μ_{rel} ist der Verstärkungsfaktor bezogen auf die Permeabilität μ_0 des Vakuums.

$$\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am}$$
$$\mu = \mu_{rel} \mu_0$$

Für ferromagnetische Materialien gilt: $\mu_{rel} \gg 1$

Magnetischer Fluß Φ

In Äquivalenz zum elektrischen Kreis definiert sich Φ als Flußgröße des magnetischen Feldes entsprechend dem Strom I im elektrischen Kreis. Je besser die magnetischen Eigenschaften (Permeabilität μ), desto größer wird der magnetische Fluß Φ bei sonst gleichen Parametern. Angabe in Weber (Wb) oder Vs.

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ Vs}$$

Magnetische Flußdichte B

Bezieht man den Magnetfluß auf die durchflossene Querschnittsfläche im Magnetkreis, ergibt sich die magnetische Flußdichte B, angegeben in T (Tesla)

$$1 \text{ T} = 1 \frac{Vs}{m^2} = 1 \frac{Wb}{m^2}$$

1.12. Auf was muss bei der Verwendung der Kendrion-Elektromagnete geachtet werden?

Generell sind Kendrion Elektromagnete zur Verwendung unter den in DIN VDE 0580 angegebenen Nennbetriebsbedingungen vorgesehen. Bei abweichenden Betriebsbedingungen ist eine Abstimmung mit dem Herstellerwerk notwendig. Beispielsweise müssen dann entsprechende Maßnahmen, wie z.B. höhere Schutzart und /oder ein Sonderoberflächenschutz vorgesehen werden. Magnete, Ankerplatten, Achsen und Kolben müssen frei von Verunreinigungen sein, da sonst Funktionsbeeinträchtigungen auftreten können. Die Geräte dürfen keinem äußeren starken Magnetfeld ausgesetzt werden. Die Befestigung der Geräte in der Applikation muss durch die vorgesehenen Befestigungsvorrichtungen, z.B. Gewindebohrungen, Befestigungsflansche o.Ä. erfolgen. Bei Geräten der Schutzklasse I muss die Schutzleiterverbindung gemäß DIN VDE 0100 vom Anwender sichergestellt werden. Ist magnetseitig kein Schutzleiteranschluß vorhanden, so muss das Gerät über sein elektrisch leitfähiges Gehäuse geerdet werden.

Elektrohaftmagnete,

Permanent- Elektrohaftmagnete

Beim Einbau der Geräte ist darauf zu achten, dass die äußere Polfläche seitlich und in der Höhe mindestens 5mm Abstand

zu anderen magnetisierbaren Stoffen hat, um Störungen des magnetischen Feldes zu vermeiden. Die Einbaulage ist beliebig. Die Kraftabnahme ist genau in Achsrichtung vorgesehen, anderenfalls muss mit verringerter Magnetkraft gerechnet werden.

Schwingmagnete des Typs OAC sind Antriebskomponenten, die vom Anwender nach den technischen Regeln und Parametern frei in sein Antriebssystem integriert werden können, das betrifft u.a. auch alle hier weiter beschriebenen technischen Parameter wie die Einbaulage, die Nennspannung und Nennfrequenz, die Ausstattung mit Federn und die Einstellung der mechanischen Resonanz. Der Luftspalt muss so bemessen sein, dass die Nennleistung der Spulen nicht überschritten wird und andererseits der bewegte Anker niemals am Erregersystem aufschlagen kann.

Schwingmagnete mit magnetischer Haftbefestigung des

Typs OAB sind vom Anwender durch geeignete mechanische Anschlüsse gegen unbeabsichtigtes "Wandern" während des Betriebes zu sichern.

Desweiteren ist das System entsprechend den Formeln aus den technischen Erläuterungen abzustimmen.

Wurfvibratoren des Typs OMW müssen durch ein entsprechendes Auflagegewicht abgestimmt werden. Die hierzu nötige Vorgehensweise ist in den technischen Erläuterungen für Schwingmagnete beschrieben. Generell sind die Geräte für eine Antriebsfrequenz (Netzfrequenz) von 50 Hz geeignet. Andere Frequenzen erfordern eine Absprache mit dem Herstellerwerk. Insbesondere die Blattfedern der Wurfvibratoren müssen bei Transport, Montage und Handhabung gegen Beschädigung geschützt werden, da die Geräte sonst verstimmt werden könnten. Wenn die in den Geräteblättern angegebenen Belastungs- und Zusatzgewichte überschritten werden, können die Magnete leicht überlastet werden.

Einbaulage von Schwingmagneten und Wurfvibratoren

Die Vorzugseinbaulage für Schwingmagnete des Typs OSR ist senkrecht, für Vibratoren der Typen OMW, OLV und OAB dagegen waagrecht.

Wurfvibratoren (Typ OMW) können waagrecht oder schräg auf einer Steigung von bis zu 18° in Förderrichtung eingesetzt werden. Bei anderen Einbaulagen kann die abweichende Wirkrichtung der Schwerkraft auf den bewegten Anker den Schwinghub beeinträchtigen.

Betätigungsmagnete für feinmechanische und industrielle Anwendungen. Die Einbaulage ist beliebig. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Kraftabnahme genau in Achsrichtung erfolgt, weil sonst die Gefahr besteht, dass die Lagerstellen durch einseitige Belastung vorzeitig verschleifen. Die Magnete sollen mit wenigstens 2/3 ihrer Nennmagnetkraft belastet werden. Unterbelastung führt durch starkes Anschlagen in Hubendstellung zu frühzeitigem Verschleiß

der Aufschlagflächen an Anker und Magnetgehäuse sowie zu starken Aufschlageräuschen. Die Ankerachse ist vor Beschädigung zu schützen. Verbogene oder deformierte Achsen führen zum Blockieren des Ankers oder zu einer Schädigung der Lagerstellen.

Spreizmagnete, Doppelspreizmagnete

Bei senkrechter Einbaulage ist bezüglich der Magnetkraft das Ankergewicht zu berücksichtigen. Die Ankerachse ist vor Beschädigung zu schützen. Deformierte Achsen führen zu einem Blockieren des Ankers und zu einer Schädigung der Lagerstellen.

1.13. Anwendungssicherheit und Wartung

Die Geräte sind gebaut, geprüft und ausgelegt nach anerkannten Regeln der Technik, insbesondere nach den Bestimmungen für elektromagnetische Geräte (DIN VDE 0580). Die Geräte dürfen nur an die auf dem Typenschild angegebene Spannungsart (Gleichstrom, Wechselstrom) und den angegebenen Spannungswert angeschlossen werden. Bei jeder Wartung ist stets darauf zu achten, dass die Geräte nicht unter Spannung stehen. Die stromführenden Teile, wie z.B. Steckkontakte oder Erregerwicklung des Gerätes dürfen nicht mit Wasser in Berührung kommen. Die freien Draht- oder Kabelenden oder die Steckverbindungen der Geräte dürfen nicht mechanisch belastet (Ziehen, Quetschen, etc.) werden. Geräte dürfen nicht in Betrieb genommen werden, wenn: die elektrischen Zuleitungen beschädigt sind, das Magnetgehäuse oder die Ummantelung Beschädigungen aufweisen, der Verdacht auf Defekte nach einem Sturz oder ähnlichem besteht. Reparaturen in diesen Fällen dürfen nur von Fachkräften durchgeführt werden. Durch unsachgemäß ausgeführte Reparaturen können erhebliche Gefahren für den Benutzer entstehen. Werden die Geräte zweckentfremdet oder falsch angeschlossen, kann keine Haftung für eventuelle Schäden übernommen werden. Für den artgerechten und gefahrlosen Gebrauch ist der Anwender verantwortlich. Im Zweifelsfall sind die Einbausituation, Umweltbedingungen und dergleichen rechtzeitig mit dem Hersteller der Geräte abzustimmen. Die Lebensdauer ist in starkem Maße von den äußeren Bedingungen (Einbaulage, Art des Mediums, Höhe der Belastung) abhängig. Aussagen diesbezüglich bedürfen der gesonderten Vereinbarung. Die angegebenen Magnetkräfte sind Mittelwerte und können infolge natürlicher Streuungen von den Listenwerten abweichen. Je nach Anwendungsfall sind die entsprechenden Unfallverhütungsvorschriften zu beachten.

Elektrohaftmagnete, Permanent- Elektrohaftmagnete

Verzinkte Elektrohaftmagnete sind wartungsfrei. Lackierte Geräte haben nicht rostgeschützte Polflächen. Bei Bedarf können die Polflächen bis zur Abnutzungsgrenze nachgeschliffen werden.

Schwingmagnete, Vibratoren

Schwingmagnete und Vibratoren außer die Typen OLV, sind bei bestimmungsgemäßer Verwendung wartungsfrei. Bei Geräten,

die permanent im Grenztemperaturbereich der Erregerwicklung betrieben werden, hat die Wicklung eine nominelle Lebensdauer von ca. 20000 Stunden (DIN EN 60172).

Ein Überschreiten der Grenztemperatur der verwendeten Isolierstoffklasse kann in kürzester Zeit zu irreparablen Schäden wie Windungsschluss führen bzw. die verwendeten Kunststoffe deformieren oder zerstören.

Betätigungsmagnete für feinmechanische und industrielle Anwendungen. Hubmagnete sind bei bestimmungsgemäßer Verwendung wartungsfrei. Ein Überschreiten der Grenztemperatur der verwendeten Isolierstoffklasse kann in kürzester Zeit zu irreparablen Schäden wie Windungsschluss führen bzw. die verwendeten Kunststoffe deformieren oder zerstören. Die von Kendrion gebauten Elektromagnete sind auch hinsichtlich ihrer Lagerung wartungsfrei. Insbesondere dürfen die verwendeten Gleitlager nicht geölt, gefettet oder in sonstiger Weise behandelt werden.

Spreizmagnete, Doppelspreizmagnete

Die Dämpfungspuffer bzw. Dämpfungsscheiben, falls vorhanden, müssen nach ein bis zwei Jahren erneuert werden. Die Achsen dürfen weder gefettet noch geölt werden. Zum Lüften der Bremse darf der Handlüfthebel nicht über das maximal angegebene Drehmoment hinaus betätigt werden, da sonst der Handlüftbolzen zerstört wird.

1.14. Richtlinien – CE-Kennzeichnung

Die Produkte von Kendrion sind elektromagnetische Komponenten und nur zum Einsatz in elektrische Betriebsmittel vorgesehen. Hauptsächlich fallen unsere Komponenten je nach Anschlussspannung in die Maschinenrichtlinie als „unvollständige Maschine“ (0V bis 50V AC / 0V bis 75V DC) oder in die Niederspannungsrichtlinie (ab 50V AC / ab 75V DC). Neben diesen Richtlinien werden von uns auch noch weitere produktspezifische Richtlinien in aktueller Version wie RoHS, ATEX, Bauprodukte Verordnung, usw. eingehalten.

Maschinenrichtlinie

Die Produkte, bei denen es sich im Sinne der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG um unvollständige Maschinen handelt, werden nicht mit dem „CE“-Zeichen gekennzeichnet. Für die Anforderungen aus der Maschinenrichtlinie kann eine Einbauerklärung ausgestellt werden. Die Einbauerklärung ist jedoch nicht automatisch Bestandteil unserer Lieferungen. Bei Bedarf stellen wir Ihnen diese gerne zur Verfügung.

Niederspannungsrichtlinie

Produkte, die der Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU unterliegen werden mit dem „CE“-Zeichen gekennzeichnet. Eine entsprechende Konformitätserklärung ist nicht automatisch Bestandteil unserer Lieferungen, jedoch stellen wir Ihnen diese bei Bedarf gerne aus.

EMV-Richtlinie / Anforderungen aus dem Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG)

Die elektromagnetische Verträglichkeit muss nach dem EMVG bezüglich der Störfestigkeit gegen von außen einwirkende elektromagnetische Felder und leitungsgebundener Störungen sichergestellt werden. Darüber hinaus muss die Aussendung elektromagnetischer Felder und leitungsgebundener Störungen beim Betrieb des Geräts limitiert werden.

Die Einhaltung der EMV-Richtlinie 2014/30/EU hat der Anwender unserer Produkte zusammen mit dem von ihm für den Betrieb vorgesehener Ansteuerung, Netzgerät oder Schaltgerät sicherzustellen. Bei Verwendung des von uns empfohlenen Zubehörs, ist die Einhaltung der EMV-Richtlinie aus den jeweiligen Einzelkatalogen ersichtlich.

Aufgrund der von Beschaltung und Betrieb abhängigen Eigenschaften der elektromagnetischen Geräte ist eine Konformitätserklärung zur Einhaltung der entsprechenden EMV-Normen nur im Zusammenhang mit der Beschaltung möglich, für die einzelnen Geräte jedoch nicht. Deshalb werden Beschaltungsempfehlungen für die Einhaltung der Normen gegeben. Soweit für das elektronische Zubehör keine gesonderten Angaben zur CE-Konformität in den Geräteblättern vorliegen, sind in den folgenden Abschnitten normkonforme Grenzwerte aufgelistet.

Störfestigkeit

EN 61000-4-2 Elektrostatische Entladungen:

Alle elektromagnetischen Geräte entsprechen mindestens dem Schärfegrad 3 ohne zusätzliche Maßnahmen. Das elektronische Zubehör entspricht mindestens dem Schärfegrad 2.

EN 61000-4-3 Elektromagnetische Felder:

Alle elektromagnetischen Geräte entsprechen mindestens Schärfegrad 3 ohne zusätzliche Maßnahmen. Das elektronische Zubehör entspricht mindestens dem Schärfegrad 2.

EN 61000-4-4 Transiente Störgrößen (Burst):

Alle elektromagnetischen Geräte entsprechen mindestens Schärfegrad 3 ohne zusätzliche Maßnahmen. Das elektronische Zubehör entspricht mindestens dem Schärfegrad 2. Bei den Geräten 33 43302..., 33 43303... und der Reihe 32 17350 ... können bei Schärfegrad 3 zeitlich begrenzte geringfügige Spannungserhöhungen auftreten, die jedoch keine Funktionsstörung zur Folge haben.

EN 61000-4-5 Stoßspannungen:

Alle elektromagnetischen Geräte entsprechen mindestens Schärfegrad 3 ohne zusätzliche Maßnahmen. Das elektronische Zubehör entspricht mindestens dem Schärfegrad 2.

EN 61000-4-8 Magnetfelder mit energietechnischen Frequenzen, EN 61000-4-9 Impulsmagnetfelder, EN 61000-4-10 gedämpft schwingende Magnetfelder:

Da die Arbeitsmagnetfelder der elektromagnetischen Geräte um ein Vielfaches stärker als die Störfelder sind, ergeben sich

keine Funktionsbeeinflussungen. Die Geräte entsprechen mindestens Schärfegrad 4. Das elektronische Zubehör entspricht mindestens Schärfegrad 3.

EN 61000-4-11 Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen und kurzzeitige Versorgungsspannungsschwankungen:

- a) Betätigungsmagnete, Elektrohaftmagnete, Verriegelungsmagnete u.a. elektromagnetisch schließende Systeme: Die elektromagnetischen Geräte gehen bei Spannungsunterbrechungen spätestens nach den entsprechend VDE 0580 in den Geräteblättern angegebenen Schaltzeiten in den stromlosen Schaltzustand über, wobei die Schaltzeit von der Ansteuerung und den Netzverhältnissen (z.B. Generatorwirkung auslaufender Motoren) abhängig ist Spannungsunterbrechungen oder Spannungsabsenkungen mit kürzerer Zeitdauer als der Abfallverzugszeit nach VDE 0580 verursachen keine Ankerbewegung. Die Abfallverzugszeit wird jedoch durch das Gerät und die jeweilige Gegenkraft bestimmt. Generell können Spannungsabsenkungen unter die dauerhaft zulässige Toleranzgrenze eine Verringerung der Haltekraft unter die Nennwerte hervorrufen. Der Anwender hat sicherzustellen, dass Folgeschäden durch das spannungsbedingte Absinken der Haltekraft bzw. Abfallen der Magnete vermieden werden. Die Funktionsfähigkeit des elektromagnetischen Geräts und des elektronischen Zubehörs bleibt erhalten, wenn o.g. Folgeschäden vermieden werden. Proportional- und Schwingmagnete: Spannungsschwankungen und Unterbrechungen können zu Abweichungen der Schwingamplitude bzw. der Ankerposition führen, soweit sie nicht durch vorgeschaltete Regler ausgeregelt werden können.
- b) Verriegelungsmagnete, Permanent- Elektrohaftmagnete, u.a. elektromagnetisch öffnende Systeme:
- c) Kurzzeitige Spannungsunterbrechungen und -absenkungen können sich funktionsbedingt nur auf die Entriegelung oder Öffnung auswirken. Die Funktion kann zeitweise nicht ausführbar sein.
- d) Der Anwender hat sicherzustellen, dass Folgeschäden nicht entstehen können. Wird die Öffnungsfunktion dauerhaft ausgeführt, kann der Magnet wie unter a) genannt in den stromlosen Zustand übergehen. Der Anwender hat Folgeschäden in geeigneter Weise zu vermeiden.

Störaussendung

Die elektromagnetischen Geräte und das elektronische Zubehör sind der Gruppe 1 nach EN 55011 zugehörig. Das Störverhalten ist nach feldgebundener Störstrahlung und leitungsgebundener Störspannung zu unterscheiden

- a) EN 55011 Störfeldstärke: Bei Betrieb mit Gleichspannung bzw. gleichgerichteter 50/60 Hz Wechselspannung entsprechen alle Geräte den Grenzwerten der Klasse B. Das elektronische Zubehör entspricht mindestens der Klasse A.
- b) EN 55011 Störspannung: Bei Betrieb mit Gleichspannung entsprechen die elektromagnetischen Geräte mindestens den Grenzwerten der Klasse A. Bei Betrieb mit den elektronischen Geräten ist mit geglätteter Gleichspannung (Restwelligkeit < 10%) zu arbeiten. Es wird empfohlen,

Kondensatoren mit einer Kapazität von mindestens 2200 μF /ADC und einer Nennspannung von 40V bei 24 VDC bzw. 25V bei 12VDC zu verwenden. Sie sind möglichst nahe am Verbraucher zu installieren. Werden die Geräte mit dem elektronischen Zubehör an 50/60 Hz-Wechselstromnetzen betrieben, sind zur Erreichung der Grenzwerte der Klasse A zusätzliche Entstörmaßnahmen notwendig.

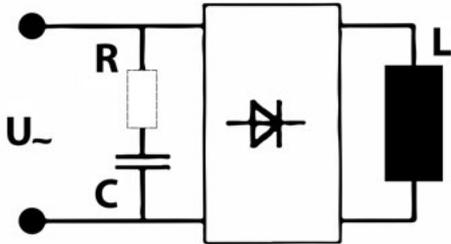


Bild 8 Funkentstörung

Es wird die Verwendung von Entstörkondensatoren bzw. Entstörgliedern empfohlen, deren Dimensionierung von den elektrischen Anschlussdaten der elektromagnetischen Geräte und auch von den Netzverhältnissen abhängig ist. In Tabelle 1 sind die empfohlenen Werte zusammengefasst. Die Entstörung ist nahe am Verbraucher zu installieren. Störungen beim Schalten der elektromagnetischen Geräte sind generell durch die induktive Last bedingt. Je nach Erfordernis kann eine Abschaltspannungsbegrenzung durch antiparallele Dioden oder Bauelemente zur Spannungsbegrenzung, wie Varistoren, Suppressordioden (TVS), WD- Glieder o.a. vorgesehen werden, die jedoch Einfluss auf die Schaltzeiten der Geräte hat. Entsprechende Beschaffungsmöglichkeiten sind den technischen Erläuterungen zu den Geräten zu entnehmen.

Betreibt der Anwender die Geräte mit anderem elektronischen Zubehör, muss er für die Einhaltung des EMV- Gesetzes Sorge tragen. Die Einhaltung der entsprechenden Normen durch Komponenten bzw. Baugruppen oder verwendete Geräte entbindet den Anwender bzw. Hersteller des Gesamtgeräts oder der Anlage nicht vom Nachweis der Norm-Konformität für sein Gesamtgerät oder seine Anlage.

Elektronisches Gerät	Netzspannung (VAC)	Gleichstrom bei L-Last (ADC)	Kondensator (nF/VAC)
Einweggleichrichter 32 07 .02AO.. 32 07333HO	bis 230 bis 400	bis 2,0 bis 2,0	47/250 100/400
Brückengleichrichter 32 07.03AO.. 32 07334HO 32 07350A00	bis 230 bis 400	bis 1,5 bis 3,0 bis 5,2 bis 2,0 bis 4,0 bis 5.2	47/ 250- 100/ 250- 220/250- 100/400- 220/400- 330/400-
Übererregungs- gleichrichter 32 17.5 . . . 2	bis 230 bis 400	bis 1,0 bis 3,0 bis 2,0 bis 3,0	47/ 250- 100/ 250- 100/400- 220/400-

Tabelle 2: Dimensionierung

2. Technische Erläuterungen zu Haftmagneten

2.1. Was sind Haftmagnete?

Elektro-Haftmagnete (Haltemagnete) halten magnetisierbare Werkstücke durch magnetisch erzeugte Kräfte in Position. Nicht magnetisierbare Werkstücke können durch die Befestigung an einer magnetisierbaren Ankerplatte gehalten werden. Durch die spezifische Gestaltung des Magnetkreises wird die Haftkraft bei kleinstmöglichem Luftspalt maximiert. Eine optimale Anziehung der Ankerplatte aus größerer Entfernung ist bei diesen Geräten nicht gegeben.

Die Haftkraft wird bei Elektro-Haftmagneten durch ein elektromagnetisches Feld erzeugt, bei Permanent-Elektro-Haftmagneten durch ein Dauermagnetfeld.

Konstruktiv weisen diese Magnete einen offenen Magnetkreis auf (Bild 9), der durch das Werkstück bzw. die Ankerplatte geschlossen wird. Die Größe des resultierenden magnetischen Flusses bestimmt die Haftkraft.

Der Grad der Magnetisierbarkeit eines Werkstücks wird durch die relative Permeabilität μ_{rel} des Materials bestimmt.

Je größer der magnetische Fluss Φ bei gleichbleibender Haftfläche, der das Werkstück durchdringt, oder je größer die magnetische Induktion B an der Haftfläche ist, desto höher ist die Haftkraft F_H .

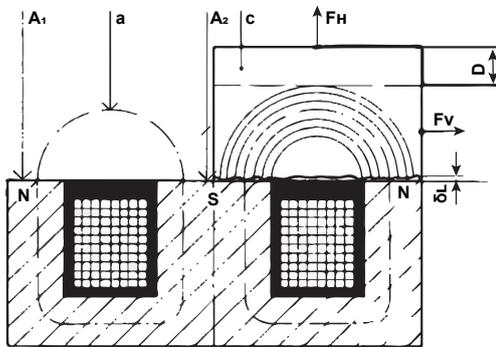


Bild 9 Haftmagnet

a	= offener magnetischer Kreis	δ_L	= Luftspalt
A_1/A_2	= magnetische Haftfläche	F_H	= Haftkraft
c	= Werkstück	F_v	= Verschiebekraft
N, S	= Magnetpole	D	= optimale Werkstückdicke

2.2. Wie berechnet sich die Haftkraft?

Haftkraft

Die Haftkraft ist die Kraft, die zum Abreißen des Werkstückes von der Haftfläche des Magneten nötig ist. Sie kann mit der Maxwell'schen Zugkraftformel berechnet werden:

$$F_H = \frac{B^2 A}{2\mu_0}$$

B...Mittlere Flussdichte im Luftspalt, $A=A_1+A_2$ (Bild 9)

Bei einer magnetischen Flussdichte von 1,6T ergeben sich ca. 1N Haftkraft aus 1mm² Haftfläche.

Der magnetische Fluss und damit die Flussdichte werden durch den Gesamt Widerstand im magnetischen Kreis bestimmt.

Resthaftkraft F_R von Elektro-Haftmagneten

Die auf Grund der magnetischen Remanenz verbleibende Haftkraft nach Abschalten von Elektro-Haftmagneten nach vorheriger Nennspannung. Sie beträgt je nach Werkstück zwischen 20 und 40% der Haftkraft bei eingeschaltetem Gerät. Bei den Türhaftmagneten (Typen GTR) wird die Resthaftkraft am Anker durch einen federnden Abdruckbolzen im Magneten überwunden.

Verschiebekraft F_v

Die zum Verschieben eines Werkstückes parallel zur Haftfläche erforderliche Kraft bei eingeschaltetem Gerät.

Sie beträgt je nach Beschaffenheit der Werkstückoberfläche 20... 33% der Haftkraft F_H im bestromten Zustand.

2.3 Welche Einflussfaktoren auf die Haftkraft gibt es?

Luftspalt δ_L

Bezeichnet den mittleren Abstand zwischen der Haftfläche des Magneten und der gehaltenen Werkstückoberfläche. Die Form der einander zugewandten Flächen sowie dazwischenliegende unmagnetische Substanzen (z.B. galvanische Überzüge, Lack, Zunder) bilden seine Größe. Auch die Rauigkeit und Unebenheit der Oberfläche wirkt sich wie ein zusätzlicher Luftspalt aus. Auf Grund der geringen Permeabilität der Luft (μ_0) ist der Luftspalt die bestimmende Größe für den magnetischen Fluss.

Einflüsse auf die Haltekraft haben:

- der Luftspalt δ_L
- die Dicke des Werkstücks (Ankerplatte)
- die Materialeigenschaften des Werkstücks (μ_{rel})
- die Belegung der magnetischen Haftfläche

Belegung der Haftfläche

Die Belegung der Haftfläche ist die Kontaktfläche (in %), mit der das Werkstück auf dem Haftmagneten aufliegt (Flächen A_1+A_2 , siehe Bild 9). Die Haftkraft pro Flächeneinheit eines Haftmagneten ist über der gesamten Haftfläche annähernd gleich. Maximal ist die Belegung der Haftfläche (100%), wenn die gesamte magnetische Haftfläche des Magneten vom Werkstück belegt ist.

Materialeigenschaften

Das Magnetgehäuse der Haftmagnete, das den magnetischen Fluss führt, besteht aus Stahl mit hoher Permeabilität. Daher ist die hohe Haftkraft, wie in den Datenblättern angegeben, mit Ankerplatten bzw. Werkstücken aus Stahl nach S235JR (alte Bezeichnung St37) oder vergleichbaren Materialien erreichbar. Allerdings kann die tatsächlich erreichbare Haltekraft durch verschiedenen Anwendungsparameter reduziert werden, u.a. durch geringere Permeabilität des Werkstückes. Deswegen ist sie von

der Materialsorte abhängig. Ebenfalls besitzen gehärtete Werkstoffe eine geringere Permeabilität. Als Faustregel gilt: Je höher der Härtegrad ist, desto geringer ist die magnetische Leitfähigkeit und damit auch die erreichbare Haltekraft. Die Kurven in Bild 10 zeigen, dass bei einer bestimmten Feldstärke H , die durch die Erregerwicklung des Haftmagneten erzeugt wird, die magnetische Induktion für die verschiedenen Werkstoffe unterschiedlich ist. $B = f(H)$
 Werkstücke mit verschiedenen Magnetisierungskennlinien ergeben bei gleichen Haftmagneten unterschiedliche Haltekraften.

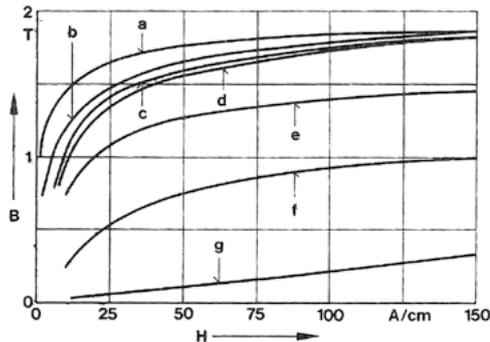


Bild 10 Magnetisierungskurven gebräuchlicher Werkstoffe

- | | |
|---------------------|-----------------------------|
| a Armco (Reineisen) | b S235JR (St37) |
| c E335 (St60) | d GS (Stahlguss) |
| e GT (Temperguss) | f GG (Grauguss) |
| g HSS (Rc 64) | B magnetische Induktion (T) |
- H magnetische Feldstärke (A/cm)

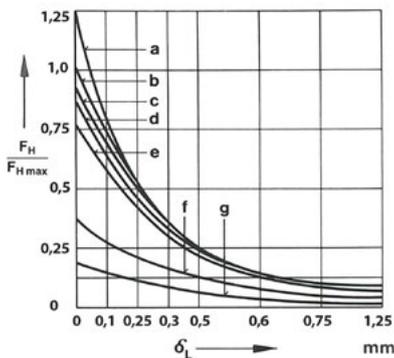


Bild 11 Einfluss des Werkstoffes und des Luftspaltes δ_L auf die Haltekraft F_H

- | | |
|---------------------|-------------------|
| a Armco (Reineisen) | e GT (Temperguss) |
| b S235JR (St379) | f G (Grauguss) |
| c E335 (St60) | g HSS (Rc 64) |
| d GS (Stahlguss) | |

Dicke des Werkstückes

Für jede Gerätegröße gibt es eine optimale Werkstückdicke, die in den jeweiligen Geräteblättern des Kataloges als „Dicke der Ankerplatte“ angegeben ist. In den dazugehörigen Diagrammen lässt sich der Einfluss geringerer Werkstückdicken entnehmen. Eine größere als die dort angegebene Dicke der Ankerplatte führt nicht zur weiteren Erhöhung der Haltekraft.

Berechnungshinweise

Mit dem Diagramm in Bild 11 wird der Zusammenhang zwischen Luftspalt und erzielbarer Haltekraft bei verschiedenen Materialien dargestellt (Kurven a bis g)

Als Referenz dient S235JR (Kurve b) bei einem Luftspalt von 0mm. Alle anderen Materialien erreichen hierzu relative Werte der Haltekraft, auch bei größeren Luftspalten. Daraus lässt sich die Haltekraft-Reduktion bei anderen Materialien rechnerisch abschätzen.

Beispiel: Berechnung der Haltekraft eines Elektrohaftmagneten GT063B001

Randbedingungen:

- Zu haltendes Werkstück hat Materialdicke 4mm,
- Luftspalt ca. 0,05mm
- Haftfläche wird vollständig vom Werkstück bedeckt
- Werkstück Material: S235JR

Haltekraftermittlung:

Aus Datenblatt: Max. Haltekraft lt. Diagramm: ca. 730N
 Aus dem Diagramm in Bild 11 ergibt sich für Kurve b) bei 0,05 mm ein Korrekturfaktor von 0,9
 Die zu erwartende Haltekraft beträgt ca. 650N

Reduzierung der Eingangsleistung

Durch Vorschalten eines Spannungsreglers kann die Eingangsleistung reduziert werden. Durch die Spannungsreduzierung wird die Erwärmung und die Haltekraft F_H der einzelnen Geräte entsprechend dem Diagramm in Bild 12.

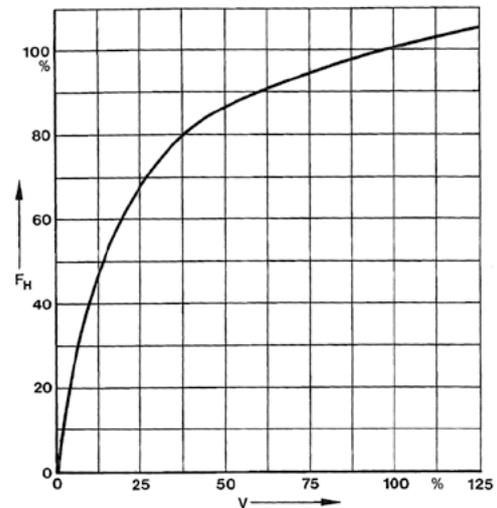


Bild 12 Haltekraft F_H von Elektrohaftmagneten in % vom Maximalwert bei Nennspannung in Abhängigkeit von der prozentualen Eingangsspannung V

2.4 Besondere Verwendungen

Verwendung mehrerer Haftmagnete für ein Werkstück (Gruppenanordnung)

- Jeder Haftmagnet muss beweglich befestigt sein, damit er sich unebenen Flächen anpassen kann (Bild 13).
- Jeder Haftmagnet soll federnd an einer Traverse hängen, damit bei unebenen Auflageflächen die Tragkraftdifferenz der einzelnen Magnete nicht zu groß ist (Bild 14). Des Weiteren können mit einer federnden Aufhängung ruckartige Bewegungen des Trägers gedämpft werden.

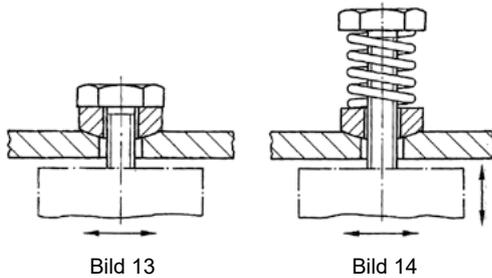


Bild 13 Einzelbefestigungen

Bild 14 Idealbefestigungen bei Gruppenanordnung

Halten besonders dünner Materialien

Zum Halten dünner Bleche werden flächig verteilte Haftstäbe empfohlen. Zu beachten ist, dass infolge Durchbiegung der Bleche die Haftkräfte ggf. nicht erreicht werden können.

Fremdfelder

Permanent-Elektro-Haftmagnete dürfen einem anderen starken Magnetfeld nicht ausgesetzt werden, um sie vor irreversiblen Haftkraftverlusten zu schützen.

Bei Elektro-Haftmagneten können starke äußere Magnetfelder zu zeitweisen Veränderungen der Haftkraft führen.

2.5 Spezielle Eigenschaften von Permanent-Elektro-Haftmagneten

Alle oben getroffenen Aussagen gelten sowohl für Elektro-Haftmagnete als auch für Permanent-Elektro-Haftmagnete, mit Ausnahme

- der Abhängigkeit der Haftkraft F_H von der Betriebsspannung sowie
- der Aussage zur Resthaftkraft

Bei Permanent-Elektro-Haftmagneten wird die permanentmagnetisch erzeugte Haftkraft F_H durch Einschalten der Versorgungsspannung neutralisiert. Allerdings hängt die Qualität der Neutralisierung von der angelegten Spannung (Toleranz) und der Spulentemperatur ab. Eine Haftkraft $F_H = 0\text{N}$ wird nur für den exakten Nennstrom erreicht.

Bild 15 zeigt die Größe der Haftkraft F_H eines Permanent-Elektro-Haftmagneten in Abhängigkeit vom Nennstrom I_N , bei dem die Kraft exakt 0 wird. Je nach Betriebsbedingung wird der Betriebsstrom geringfügig vom Nennstrom abweichen, so dass eine Rest-Haftkraft F_R bestehen bleibt. Zu beachten ist, dass bei Steigerung des Stroms über den Nennstrom hinaus die Haftkraft ebenfalls wieder größer wird.

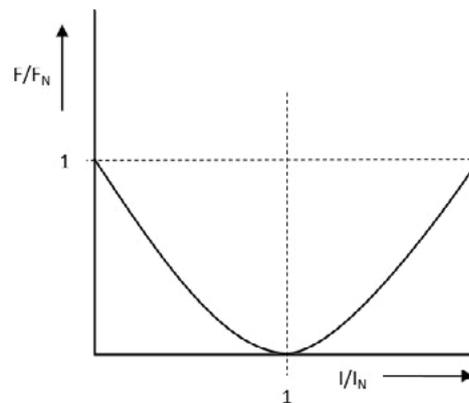


Bild 15 $F_H=f(I/I_N)$ für Permanent-Elektro-Haftmagnete

3. Technische Erläuterungen zu Betätigungsmagneten

3.1. Allgemein

Neutrale und Polariserte Magnete

Neutrale Hubmagnete sind dadurch gekennzeichnet, dass ihr magnetisches Feld ausschließlich durch den Stromfluss in der Spule erzeugt wird. Im Gegensatz dazu besitzen polarisierte Hubmagnete einen oder mehrere Dauermagnete (Permanentmagnete), die auch ohne elektrischen Strom ein Magnetfeld ausbilden. Mit Hilfe des Spulenstroms wird das Magnetfeld der Dauermagnete so modifiziert, dass der gewünschte Effekt wie z.B.

- Stromloses Halten und / oder
- Umkehr der Bewegungsrichtung oder
- Verringerung der elektrischen Leistungsaufnahme erreicht wird.

Hubmagnete und Drehmagnete

Während *Hubmagnete* zur Erzeugung linearer Stellbewegungen eingesetzt werden, dienen *Drehmagnete* zum rotatorischen Antrieb einer Welle (Bild 16). Alle Erläuterungen für Hubmagnete gelten für Drehmagnete entsprechend. Zu beachten sind die Analogien

- Weg, Hub, s , s_1 , s_2 → Drehwinkel, $\alpha, \alpha_1, \alpha_2$,
- Kraft, Magnetkraft, Haltekraft, Federkraft, F_x → Drehmoment, Haltemoment, Federmoment, M_x
- $W_{\text{mech}} = \int_{s_1}^{s_2} F ds \rightarrow W_{\text{mech}} = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} M d\alpha$

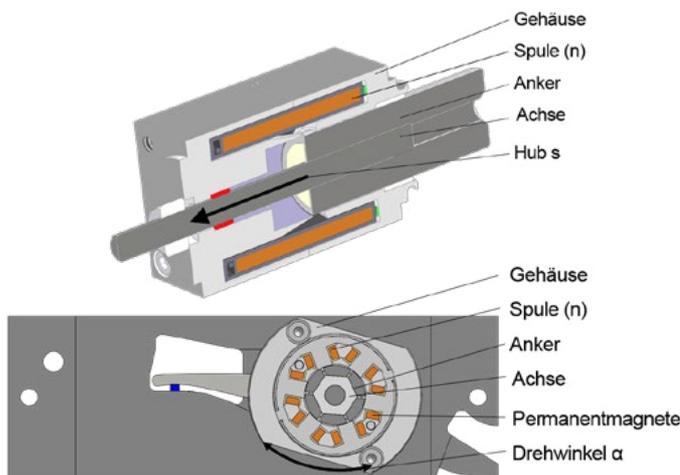


Bild 16 Neutraler Hubmagnet (oberes Bild), polarisierter Drehmagnet mit Hauptbestandteilen und Wirkungsrichtung (unteres Bild)

Federkräfte

Werden Federn in Betätigungsmagneten eingesetzt, so reduzieren oder verstärken sie die nach außen verfügbare mechanische Kraft.

Mechanische Schnittstelle

Betätigungsmagnete müssen mechanisch in die Antriebseinheit integriert werden. Dazu sind an den Standardgeräten

Gewindelöcher, Zentrierbunde und Ähnliches vorgesehen. Die genaue Lage und Größe ist in unseren Katalogdaten angegeben. Für spezielle Anpassungen bitten wir um Rücksprache. Insbesondere sollten anwenderseitig keine zusätzlichen Bohrungen o.Ä. angebracht werden, da die Gefahr der Beschädigung anderer Bauteile sehr hoch ist.

IP-Schutz gemäß DIN EN 60529

Die IP-Schutzart des jeweiligen Magneten ist in unseren technischen Daten angegeben. Betätigungsmagnete haben bedingt durch ihre Bauart einen relativ geringen Schutz gegen das Eindringen von Wasser oder festen Fremdkörpern. Zur Erhöhung der Schutzart werden teilweise Zusatzkomponenten wie Faltenbalg oder Abstreifring angeboten. Diese Komponenten erhöhen gleichzeitig die Reibung und mindern die verfügbare Magnetkraft.

3.2. Funktion der Betätigungsmagnete

Funktion

Betätigungsmagnete sollen ein mechanisch verschiebbares Teil mit vorgegebener Kraft über einen vorgegebenen Weg (Hub s) bewegen (Bild 17).

Haltekräfte

In der Hubanfangs- bzw. Hubendposition kann der Anker des Elektromagneten mit einer Haltekraft F_H verharren (siehe Bild 17). Meist wird eine der Positionen durch magnetische Kräfte gehalten, die jeweils andere durch eine Feder oder andere externe Kräfte. Je nach Magnetkonfiguration wird die magnetisch gehaltene Position mittels Stromfluss der Spule oder durch Dauermagnete gehalten.

Rückstellung des Ankers

Vor Ausführung eines neuen Arbeitshubs muss der Anker in die Hubanfangsposition zurückgestellt werden. Das erfolgt mittels eingebauter oder externer Feder oder von außen durch den mechanischen Antrieb, in dem der Elektromagnet eingesetzt ist. Bei Umkehrhubmagneten wechselt mit der aktiven Arbeitsrichtung auch die Hubanfangs- und Hubendposition.

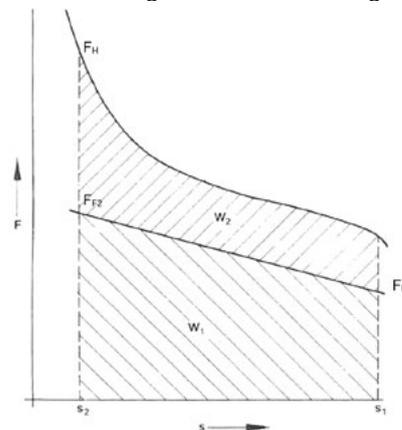


Bild 17 Funktion des Betätigungsmagneten mit Federbelastung:

s_1 Hubanfang	s_2 Hubende
F_H Haltekraft (magnetisch)	F_{F1} Federkraft bei Hubanfang
F_{F2} Federkraft bei Hubende	W_1 statische Hubarbeit
W_2 dynamische Hubarbeit	

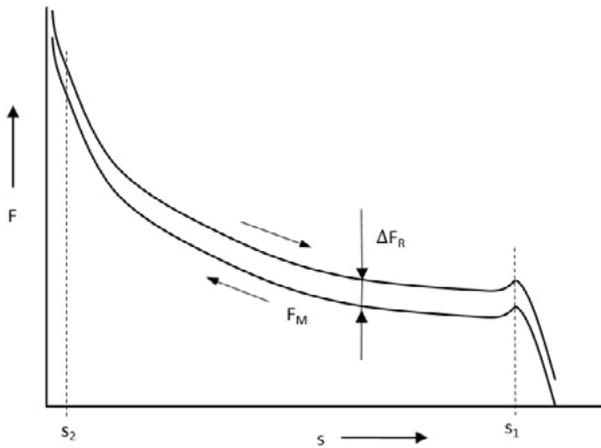


Bild 18 Reibung an Betätigungsmagneten. Die Pfeile zeigen die Bewegungsrichtung F_M Magnetkraft, ΔF_R Reibkraft, Hysterese

Reibung

Der Magnetanker ist auf Grund von geometrischen Asymmetrien niemals entlang seines Umfangs den gleichen Kräften ausgesetzt. Ungleich verteilter magnetischer Fluss, mechanische Asymmetrie und äußere Kräfte (z.B. Gravitation) führen während der Ankerbewegung zu Lagerreibung, die die nutzbare Magnetkraft verringert (Bild 18 untere Kurve). Deshalb wird die Magnetkraft F_M für den Magnethub abzüglich der Reibungskraft angegeben. Für die Rückstellung des Ankers gegen die Anzugsrichtung unter Strom wird dagegen die Kraft $F_M + \Delta F_R$ benötigt (Bild 18, obere Kurve). Gleichzeitig verstärkt der Lagerabrieb die Asymmetrie und die Reibung und führt zu Alterung, wodurch die Anzahl erreichbarer Bewegungszyklen begrenzt wird.

Erwärmung der Betätigungsmagnete

Die Funktionen des Betätigungsmagneten ist bei normgerechter Umgebungstemperatur in Verbindung mit der Eigenerwärmung durch das Design sichergestellt (siehe Tabelle 1 und 3). Bei höheren Umgebungstemperaturen müssen Einbußen an der erreichbaren Hubarbeit hingenommen werden, da die Leistungsaufnahme reduziert werden muss (Bild 19). Dies geschieht, um die Isolierstoffe vor Beschädigung zu schützen. Kurve 1 stellt diejenige Spannung (in %) in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur dar, mit der ein Magnet betrieben werden darf, wenn seine Erregerwicklung für eine normale Umgebungstemperatur ausgelegt ist (Werte in den Geräteblättern). Kurve 2 zeigt die zulässige Eingangsleistung in % der Listenwerte, wenn der Magnet bei einer höheren Umgebungstemperatur als 40°C arbeiten muss. Kurve 3 gibt die Hubarbeit des Magneten bei einer der Umgebungstemperatur angepassten Eingangsleistung an.

Weitere Wärmequellen

Zusätzlich wird die Temperatur der Spule wesentlich durch Wärmeableitung oder -zufuhr von anderen Maschinenbauteilen bestimmt. Durch guten mechanischen Kontakt (oft metallisch, gut wärmeleitend) kann die Temperatur sehr stark von anderen

Quellen beeinflusst werden. Besonders bei Betrieb an heißen Anbauteilen muss deshalb die Spulenerwärmung im Betrieb überprüft werden.

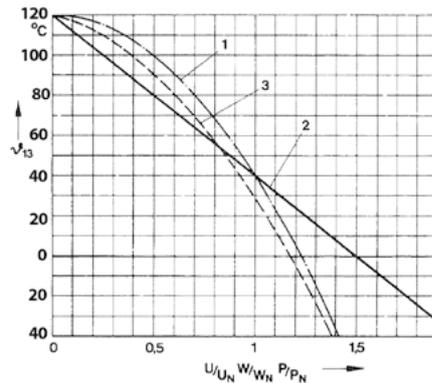


Bild 19 Reduktion von zulässiger Betriebsspannung bzw. Leistungsaufnahme und erreichbarer Hubarbeit bei erhöhter Umgebungstemperatur, dargestellt für Isolierstoffklasse E Θ_{13} Umgebungstemperatur W_N Nennhubarbeit U_N Nennspannung P_N Nennleistungsleistung

Kurve 1: $U/U_N = f(\Theta_{13})$

Kurve 2: $P/P_N = f(\Theta_{13})$

Kurve 3: $W/W_N = f(\Theta_{13})$

Optimales Magnetdesign

Um bei einem gegebenen Magnetvolumen das beste Verhältnis von elektrischer Leistung zu mechanischer Arbeit zu erreichen, muss das optimale Design für die zugrunde liegende Leistungsaufnahme (im Warmzustand!) gefunden werden. Das Optimum besteht hauptsächlich aus dem richtigen Verhältnis des Spulenquerschnitts (A_{Cu}) zum Magnetkreisquerschnitt (A_{Fe}):

$$\max. \{W_{mech}(V, P_{el, warm})\} = f\left(\frac{A_{Cu}}{A_{Fe}}\right)$$

Außerdem spielen bei der optimalen Auslegung weitere Kriterien eine Rolle, weshalb ein Elektromagnet umfassend berechnet und auf den Einsatzfall zugeschnitten wird.

3.3. Ansteuerverfahren für Betätigungsmagnete

Betrieb an Spannungsquelle (Normalbetrieb)

In der Regel werden Elektromagnete mit einer Versorgungsspannung betrieben, so dass Spannungstoleranzen bzw. der Innenwiderstand der Spannungsquelle und Zuleitungen Einfluss auf das Betriebsverhalten nehmen. Diese werden im Allgemeinen zur toleranzbehafteten Nennspannung zusammengefasst. Für die Funktionalität muss berücksichtigt werden, dass die spezifizierten Temperaturobergrenzen der Spule bei Maximalspannung (\rightarrow maximale Leistungsaufnahme) eingehalten werden muss, jedoch die projektierte Kraft-Weg-Kennlinie bei Minimalspannung und maximaler Spulentemperatur erreicht werden muss.

Erwärmung und Spannungstoleranz senken die Magnetkraft eines Elektromagneten deutlich unter die Kraft bei Nennbedingungen (Tabelle 3).

Die Magnetkraft des Elektromagneten liegt dann noch bei ca. 50% der Kraft bei Nennbedingungen (Bild 20b), Kurve 1 und 2).

Die Folgen sind deutliche Unterschiede in Kraft, Schaltzeit und Schaltgeräusch - abhängig von Erwärmungszustand und Betriebsspannung.

Die in den Datenblättern angegebenen Kräfte und Schaltzeiten werden bei betriebswarmem Magneten erreicht.

Relevante Größe	Abhängig von	Berechnung/Quelle	Beispiel	Erläuterung
I_M	$R_{warm}, U_{max}, U_{min}$	$I_M = U_{min} / R_{warm}$	$I_M \approx 0,67 I_N$ bei $155^\circ C$ und $0,9 U_N$	Für die Funktion zur Verfügung stehender Magnetstrom
R_{warm}	$\vartheta_{Spulemax}$	$R_{warm} = R_{20} ((\vartheta_{Spule-20^\circ C}) / 0,0039 + 1)$	$R_{warm} \approx 1,5 R_{20}$ bei $155^\circ C$	Maximalwert des Spulenwiderstandes im Betrieb
Thermische Klasse	Materialien	DIN EN60085 (VDE 0301-1):2008-8	Klasse F: $155^\circ C$	Maximaltemperatur der Isolierstoffe
U_{max}, U_{min}	Applikation		$\pm 10\%$	Spannungstoleranz am Elektromagnet
F_M	I_M	Nichtlinearer Magnetkreis $L = L(s, I)$	$F_M \approx 0,5 F_N$	Praktisch tatsächlich erreichbare Kraft

Tabelle 3: Abhängigkeit der Magnetkraft von anderen Einflussgrößen

DC-Spannungsregelung

Die Toleranz der Betriebsspannung wird deutlich eingeschränkt. Für eine Resttoleranz von z.B. $\pm 2\%$ und eine mittlere Spulentemperatur von $155^\circ C$ fällt die Kraft bei Warmbedingungen auf ca. 60% im Vergleich zu Nennbedingungen (Bild 20 b), Kurve 3)

DC-Stromregelung

Bei der DC-Stromregelung ist die Spannung variabel. Der maximal zulässige Strom ergibt sich aus der thermischen Klasse und der Qualität der Wärmeableitung an die Umgebung. Der Magnetkreis wird auf den berechneten Strom optimiert. Dieser Strom kann in jedem Betriebszustand eingepreßt werden. Versorgungsseitig ist immer eine Spannungsreserve vorhanden, um den Anstieg des Widerstands infolge der Erwärmung ausgleichen zu können.

Vorteile der Stromregelung:

- Beschleunigter Einschaltvorgang
- Es wird ein maximaler Magnetstrom bestimmt, der immer erreicht werden kann
- Die Magnetkraft, die Schaltzeit und das Schaltgeräusch sind im Kalt- und Warmzustand gleich
- Der Magnet kann für die gewünschte Kraft-Weg-Kennlinie optimiert werden

Mit einer variablen Stromregelung können Elektromagnete in Verbindung mit einem Rückstellelement und/oder einer Wegmessvorrichtung als Stellantrieb eingesetzt werden (Proportionalmagnete).

Allerdings wird der maximale Spulenwiderstand bereits bei der Festlegung des Nennstroms berücksichtigt, so dass die Ausbeute an mechanischer Arbeit vergleichbar mit der bei DC-Spannungsregelung ist (Bild 20 b, Kurve 3).

Verkürzte Einschaltdauer

Werden Betätigungsmagnete nicht im Dauerbetrieb eingesetzt, ergibt sich die Möglichkeit des Betriebes mit verkürzter Einschaltdauer („Kurzeitbetrieb“ siehe Technische Erläuterungen, Abschnitt 1.10. Betriebsarten). Durch geänderte Spulenauslegung wird die Nennleistung im Vergleich zum Dauerbetrieb erhöht. Der Vorteil ist eine größere Hubarbeit bezogen auf die Baugröße. Bild 20 a) zeigt die zu erwartende Steigerung der mechanischen Arbeit bei Verkürzung der Einschaltdauer.

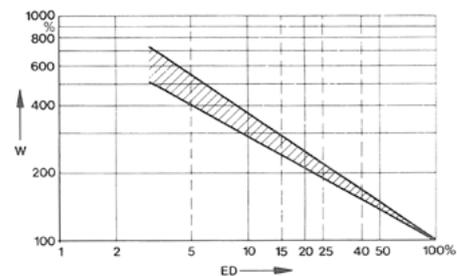


Bild 20 a) Hubarbeit W in Abhängigkeit von der relativen ED bei Betätigungsmagneten für Gleichstrom

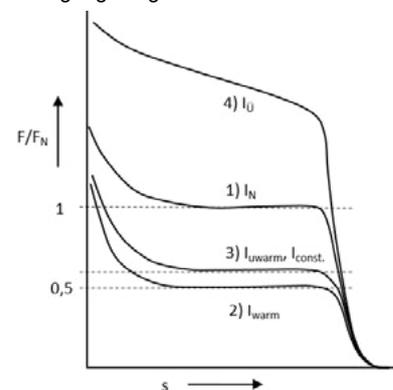


Bild 20 b) Kraft-Weg-Kennlinien für Nennstrom I_N

I_{warm} Minimalstrom I_{uwarm} Warmstrom bei Spannungsregelung
 I_{const} Stromregelung I_0 Übererregung

Schnellerregung zur Verkürzung der Anzugszeit t_1

Bei der Schnellerregung (Bild 21) wird durch Vorschalten eines ohmschen Widerstandes zum Magneten der Gesamt Widerstand vergrößert und die Zeitkonstante verringert. Die Betriebsspannung U_B ist deutlich höher als die Nennspannung des Magneten U_N . Die Magnetspule wird beim Einschalten ($I=0$) durch eine hohe Spannung ($U_B \gg U_N$) bei gleichzeitig verringerter elektrischer Zeitkonstante

$$T_{el} = \frac{L_M}{R_M + R_V}$$

schneller erregt als ohne Vorwiderstand (Bild 23). Die Ansprechverzugszeit und Anzugszeit verringern sich entsprechend. Im stationären Betrieb mit $I = I_N = \text{const.}$ entspricht das Betriebsverhalten und die mechanische Arbeit des Magneten dem bei Normalbetrieb.

Es ist zu berücksichtigen, dass der Vorwiderstand während des stationären Betriebs dauernd eine Verlustleistung von $P_V = I_N^2 R_V$ verbraucht.

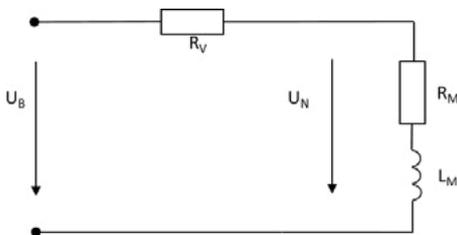


Bild 21 Betätigungsmagnet mit Schnellerregung

U_B Betriebsspannung U_N Nennspannung des Magneten
 R_V Vorwiderstand R_M ohmscher Widerstand des Magneten
 L_M Induktivität des Magneten

Übererregung

Bei Übererregung (Bild 22a) wird dem Elektromagneten während des Anzugsvorganges eine erhöhte Spannung zugeführt, um

- die Schaltzeit zu verkürzen und/oder
- eine höhere mechanische Arbeit zu erzeugen.

Eine weitere Form der Übererregung besteht darin, einer Teilspule (Anzugsspule L_{M1}) zunächst die gesamte Betriebsspannung anzulegen. Diese wird nach Beedingung der Ankerbewegung mit der sog. Haltewicklung (L_{M2}) in Reihe geschaltet, so dass sich der Nennstrom einstellt (Bild 22b). Der Unterschied der "Übererregung" zur Betriebsart „Verkürzte Einschaltdauer“ besteht darin, dass die Leistung nach dem Anzugsvorgang auf einen thermisch ungefährlichen Wert reduziert wird. Der Elektromagnet kann also fast wie ein 100%-ED Gerät betrieben werden. Die Spannungsreduktion erfolgt entweder zeitgesteuert oder mit Endlagendetektion. Da die Haltekraft bei Nennleistung durch die Magnetauslegung gegeben ist, ist es sinnvoll, die Übererregung maximal soweit zu nutzen, dass die Anzugskraft bei Übererregung der Haltekraft bei Nennbetrieb entspricht (Bild 24 Punkt (b)). Die erhöhte Anzugsleistung führt pro Anzugsvorgang zu einer zusätzlichen Erwärmung, deshalb ist für diese Betriebsart eine maximale Schaltzahl Z (Schaltzyklen pro h) festzulegen.

Mit Übererregung kann die Hubarbeit ähnlich gut wie mit verkürzter Einschaltdauer vergrößert werden (Bild 20 a), allerdings ohne den Nachteil der langen Ausschaltphasen. Die Übererregungsleistung wird i.d.R. so bestimmt, dass ein Dauerbetrieb möglich ist. Die theoretische maximale Schaltfrequenz ergibt sich dann zu

$$f_{smax} = \frac{1}{t_1 + t_2}$$

Bei höherer Übererregungsleistung können, in Abhängigkeit von der Schaltfrequenz, stromlose Pausen zur Einhaltung der Temperaturgrenzwerte nötig werden. Diese werden dann applikationsspezifisch durch Tests ermittelt.

Die Aussagen zum Einfluss der Spulenerwärmung auf Magnetstrom, -kraft und Schaltzeit gelten bei Übererregung sinngemäß. Übererregung kann auch mit Strom- oder Spannungsregelung kombiniert werden, mit den o.g. Vorteilen.

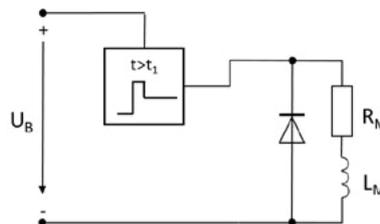


Bild 22a) Elektromagnete mit Übererregung: Spannungsreduktion mit PWM-Modul

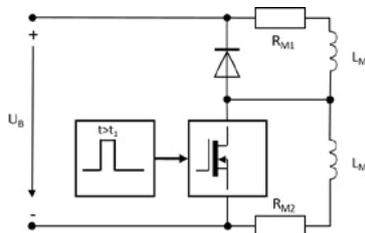


Bild 22b) Elektromagnete mit Übererregung: Zweiwicklungsmagnet mit Halte- und Anzugswicklung (R_{M1}, L_{M1}), die Haltewicklung (R_{M2}, L_{M2}) wird beim Anzug kurzgeschlossen

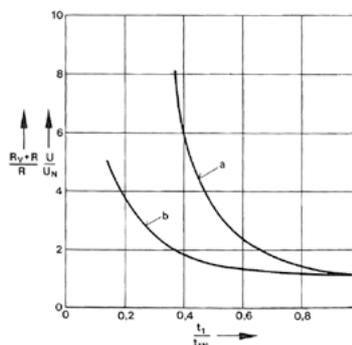


Bild 23 Beispiele für die Verkürzung der Anzugszeit durch Schnellerregung (a) mit $(\frac{R_V + R}{R})$ und Übererregung (b) mit $U/U_N, t_1/t_{1N}$ Einschaltzeit ohne Schnell-/Übererregung, die Schaltzeitangabe bezieht sich auf sonst gleiche Parameter (insb. Magnetgeometrie, Gegenkräfte)

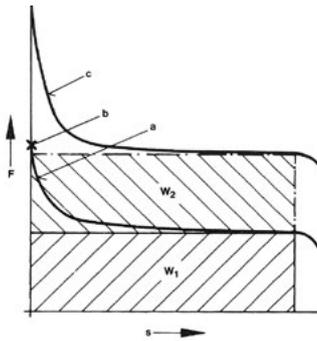


Bild 24 Einfluss der Übererregung auf die Hubkraft-Kennlinie des Magneten

- a Kennlinie bei Normalerregung
- b Haltekraft bei Normalerregung
- c Kennlinie mit Übererregungsgleichrichter
- W_1 Hubarbeit durch Normalerregung
- W_2 Hubarbeit zusätzlich durch Übererregung
- F Magnetkraft
- s Magnethub

3.4. Prüfung der Betätigungsmagnete

Prüfspannung

Sämtliche Betätigungsmagnete werden vor Auslieferung auf Spannungsfestigkeit geprüft. Dabei gelten die Prüfspannungen nach VDE 0580, sofern nichts anderes vereinbart ist, siehe Tabelle 4.

Wiederholte Spannungsprüfung

Die bei der Stückprüfung durchgeführte Spannungsprüfung soll nach Möglichkeit nicht wiederholt werden. Wird jedoch eine 2. Prüfung verlangt, etwa bei Abnahmen, so darf diese nur mit 80% der in Tabelle 3 angegebenen Werte der Prüfspannung erfolgen.

Nennspannung / V	Prüfspannung Geräte der Schutzklasse I, III mit AC, U_{eff} / V
50	500
100	800
150	1400
300	2200
600	3300
1000	4300

Tabelle 4: Prüfspannungen (Auszug aus DIN VDE 0580 :2011-11)

4. Technische Erläuterungen zu Schwingmagneten

4.1. Allgemeine Beschreibung der Schwingmagnete

Schwingmagnete (Definition siehe Pkt. 1.2.) führen, physikalisch gesehen, erzwungene, gedämpfte Schwingungen in einem Feder-Masse System aus.

Ihre Schwingfrequenz wird durch die pulsierende elektromagnetische Kraft des integrierten Elektromagneten bestimmt (Antriebsfrequenz). Sie ist immer gleich der Frequenz der anregenden Kraft.

Die Frequenz der Kraftimpulse bestimmt sich aus dem pulsierenden Strom in der Erregerspule und ist:

- bei pulsierendem Gleichstrom gleich der Pulsfrequenz des Stromes.
- bei Wechselstrom doppelt so groß wie die Frequenz des Wechselstroms.
- bei Wechselstrom mit Einweggleichrichtung oder Wechselstrom mit Feldüberlagerung durch Dauermagnete gleich der Frequenz des Wechselstroms.

Schwingantriebe besitzen gegenüber anderen Betätigungsmagneten einige Anwendungsspezifika. Die Resonanzfrequenz (Eigenfrequenz) ist die Frequenz, mit der ein System nach einmaliger Anregung allein durch die beteiligten Massen und Federn schwingen würde.

Bei Vernachlässigung der Dämpfung ist die Eigenfrequenz eines Einmassenschwingers:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m}} \quad c \dots \text{Federkonstante, } m \dots \text{Schwingmasse.}$$

Verwendet man die in Abschnitt 4.3. angegebenen Einheiten für f_0 , c und m , so ergibt sich folgende zugeschnittene Größengleichung:

$$f_0 = 5 \sqrt{\frac{c}{m}} \quad [\text{Hz}]$$

Liegt die Antriebsfrequenz zu nahe an der Resonanzfrequenz, kann sich ein extrem großer Schwinghub ergeben, der den Schwingmagneten beschädigt.

Weitere Erläuterungen zur Abstimmung des Antriebs an die Anwendung sind in den folgenden Abschnitten angegeben.

4.2. Begriffe

Schwingfrequenz f

Die Frequenz, mit der das Gerät schwingt, im Normalfall $50\text{Hz} = 3000 \text{ min}^{-1}$.

Maximaler Luftspalt a_{max}

Der auf dem Magneten angegebene Luftspalt im statischen Zustand (siehe Bild 25, Luftspalt a).

Schwinghub s

Bei Schwingmagneten die Differenz zwischen den Umkehrpunkten der Bewegung des Ankers in Antriebsrichtung. (Der Schwinghub kann mit selbstklebenden Messkeilen bestimmt werden (Bild 26), die quer zur Antriebsrichtung auf das schwingende Bauteil aufgebracht werden.)

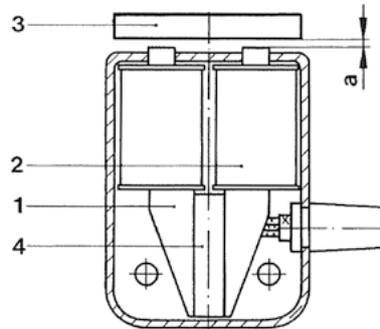


Bild 25 Schwingantrieb OSR

- | | |
|-------------------|----------------|
| a Luftspalt | 1 Magnetkörper |
| 2 Erregerwicklung | 3 Anker |
| 4 Permanentmagnet | |

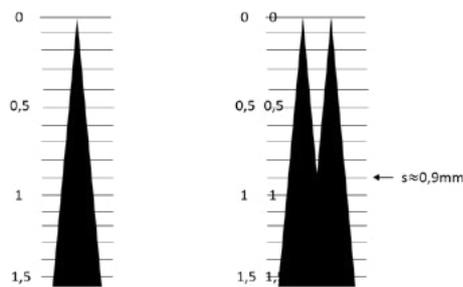


Bild 26 Messkeil zur Hubmessung an Schwingmagneten, Ablesung am bewegten Messkeil: $s \approx 0,9\text{mm}$

Nutzhub, -seite, -gewicht, -masse

Beziehen sich auf den schwingfähigen Teil, mit dem ein Nutzeffekt erzielt wird.

Freihub, -seite, -gewicht, -masse

Beziehen sich auf den schwingfähigen Teil, mit dem kein Nutzeffekt erzielt wird. Idealfall: „Frei von Schwingungen“.

Anzustrebendes Belastungsgewicht

Bei Wurfvibratoren das Rinnengewicht, das den Einbau eines listenmäßigen Geräts möglich macht.

Nennleistung P_s, S

Die Scheinleistung bei Nennspannung.

4.3. Bauformen und Anwendungen von Kendrion Schwingantrieben

Verwendete Formelzeichen und Einheiten

f_0	Eigenfrequenz	Hz
f_a	Antriebsfrequenz	Hz
c	Federkonstante	N/mm
c_s	Federkonstante der Gummipuffer in Schubrichtung	N/mm
d	Federstärke (dicke)	mm
m_F	Gewicht der Freiseite des Zweimassenschwingers	kg
m_N	Gewicht der Nutzseite des Zweimassenschwingers	kg
m_r	resultierendes Gewicht $m_r = \frac{m_N m_F}{m_N + m_F}$	kg
s_F	Schwinghub der Freiseite	mm
s_N	Schwinghub der Nutzseite	mm
s	Gesamtschwinghub $s = s_N + s_F$	mm
a	Luftspalt	mm
p	Widerstandsverhältnis	

Gerätetypen OAC...

Diese Geräte (Bild 27) sind universell einsetzbare Schwingantriebe für Feder-Masse-Systeme in Schwingförderern, Linearförderantrieben usw. zum Betrieb an Wechselspannung oder pulsierender Gleichspannung.

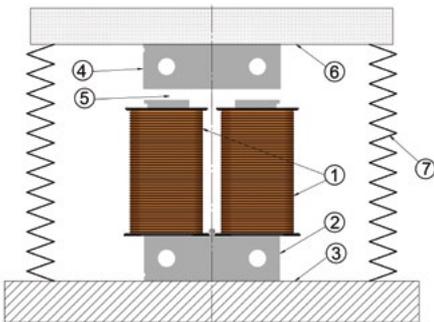


Bild 27 Schwingmagnet OAC... eingebaut im Schwingssystem

- | | |
|--------------------|---------------|
| 1 Erregerwicklung | 5 Luftspalt |
| 2 Eisenkern (Joch) | 6 Nutzmasse |
| 3 Freimasse | 7 Federsystem |
| 4 Anker | |

Die Schwingmagnete bestehen aus der Erregerwicklung, dem Joch und dem Anker (Teile 1, 2, 4), wobei die Erregerwicklung aus zwei in Reihe geschalteten Spulen besteht. Joch und Anker bestehen aus Elektroblech (UI-Schnitt), wodurch Ummagnetisierungsverluste im Eisenkern gering gehalten werden. Die Spulen sind kunststoffummantelt. Bei Ansteuerung mit 50Hz AC stellt sich eine Anzugskraft auf den Anker ein, die mit 100Hz (6000 min^{-1}) pulsiert. Bei Verwendung einer 50Hz Wechselspannung mit zusätzlicher Einweggleichrichtung stellt sich eine 50Hz (3000 min^{-1}) Kraftpuls ein. Beides trifft auch zu, wenn die elektrische Spannung mit einer Phasenanschnittsteuerung (OCS902.000703) beeinflusst wird. Mit Hilfe einer pulsweitenmodulierten Spannung kann der Frequenzbereich von 5...200Hz für die Schwingfrequenz eingestellt werden (Frequenzregelgerät OCS902.000810).

Durch das Feder-Masse-System müssen die Schwingeigenschaften des Gesamtsystems eingestellt werden, hierbei ist insbesondere die mechanische Resonanzfrequenz zu beachten. Liegt die Antriebsfrequenz zu nahe an der Resonanzfrequenz, so besteht die Gefahr, dass die Ankerplatte auf das Erregersystem aufschlägt, weil der Schwinghub sehr groß wird. Deshalb sollte die Antriebsfrequenz ca. 1-2Hz unter der Resonanzfrequenz liegen. Theoretisch sollte die Freimasse sehr groß im Vergleich zur Nutzmasse sein, um die Übertragung von Schwingungen in die Freiseite (Unterbau, Chassis) zu verhindern. Praktisch werden für ein Verhältnis

$$m_F / m_N > 12 \quad \text{nur noch geringe Schwingungen übertragen, so}$$

dass man hier von einem Kompromiss sprechen kann. Zur Festlegung der Federsteifigkeit muss dann nur die Nutzmasse berücksichtigt werden muss. Das heißt es gilt:

$$f_0 = 5 \sqrt{\frac{c}{m}} \rightarrow c = \frac{f_0^2}{25} m_N \rightarrow m_N = \frac{25 c}{f_0^2}$$

wobei eine Antriebsfrequenz

$$f_a = f_0 - (1 \dots 2) \text{ Hz angestrebt werden muss.}$$

Kann das nötige Freigewicht nicht realisiert werden, muss statt m_N mit der resultierenden Masse m_r gerechnet werden, da nunmehr beide Massen in Bewegung versetzt werden. Der Schwinghub beider Seiten wird sich ca. im umgekehrten Verhältnis ihrer Massen ausbilden:

$$\frac{s_N}{s_F} \approx \frac{m_F}{m_N}$$

Gerätetypen OSR... (Bild 25) – „Schwingmagnet“, „Rüttler“

Es handelt sich um Antriebe zum „Rütteln“ von Bauteilen wie z.Bsp. Trichter. Das Magnetsystem des Schwingmagneten ist in einem Kunststoffgehäuse eingegossen. Es besteht aus zwei Erregerwicklungen und den beiden Magnetkörperhälften, die an ihrer Unterseite durch einen Permanentmagneten verbunden sind. Der Magnetkörper ist aus Elektroblechen zusammengesetzt, um Wirbelströme zu verringern. Der magnetische Kreis wird durch den zu schwingenden Körper, der den Anker darstellt, über den Luftspalt geschlossen. Besteht der zu beschwingende Körper aus nicht magnetischem Material, muss eine magnetisierbare Ankerplatte angebracht werden. Durch den in dem Magnetkörper eingebauten Permanentmagneten ist das System vormagnetisiert und es entsteht zwischen Magnetkörper und Anker eine konstante Zugkraft. Wird an die Erregerwicklung eine Wechselspannung gelegt, so überlagert die Kraftwirkung des elektromagnetischen Wechselfeldes die Kraftwirkung des Permanentmagneten. Die Frequenz der resultierenden Kraft entspricht daher der Frequenz der angelegten Wechselspannung, die den Anker im gleichen Rhythmus bewegt.

Um die gewünschte Schwingbewegung zu erreichen, muss die Nutzmasse, d.h. der zu beschwingende Körper, durch federnde Elemente schwingfähig an einer Grundplatte

oder an einem Sockel befestigt sein. Es gelten sinngemäß die Berechnungsgleichungen für die OAC-Antriebe. Der Schwingmagnet muss fest auf einer möglichst schweren Freimasse befestigt sein.

Eine weitere Einsatzmöglichkeit ist, den Schwingmagnet mittels elastisch gefederter Permanentmagnet-Halterungen (bzw. Winkelblechen mit Schrauben) an einem zu berüttelnden Bauteil (Trichter, Bunker,...) zu befestigen (Bild 28). Der Magnetkörper schwingt dann in Abhängigkeit von den Massenverhältnissen als „Freimasse“ und regt die „Nutzmasse“ zu Schwingungen an. Es gilt:

$$\frac{s_N}{s_F} \approx \frac{m_F}{m_N}$$

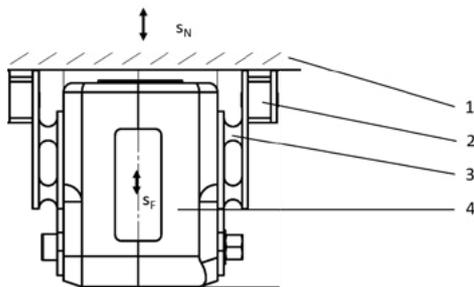


Bild 28 Gerät OSR als Rüttler mit magnetischer Haftbefestigung

- | | |
|---------------------------|------------------|
| 1 zu berüttelndes Bauteil | 3 Elastomer |
| 2 Haftbefestigung | 4 Rüttler OSR... |
- (alternativ Befestigungswinkel)

Die Gerätetypen OSR... sind ebenfalls für den Betrieb mit Frequenzregelgeräten OCS902.000810 sowie Phasenanschnittsteuerungen (OCS902.000703) ohne zusätzliche Einweggleichrichtung geeignet.

Gerätetypen OLV... (Bild 29) „Linearschwinger“

Der Magnetkörper des Linearvibrators besteht aus einem runden Stahlgehäuse. Im Inneren des Magnetkörpers befinden sich die Erregerwicklung und der Anker, der über eine nichtmagnetische Welle zentrisch geführt und durch zwei Federn in der Mittellage gehalten wird.

Durch einen Permanentmagneten mit Leitpolen, der zwischen den beiden Spulen der Erregerwicklung liegt, wird das System vormagnetisiert. Die dadurch auf den Anker wirkenden Kräfte gleichen sich durch die Anordnung der Leitpole aus. Wird an die Erregerwicklung eine Wechselspannung gelegt, so überlagert die Kraftwirkung des elektromagnetischen Wechselfeldes die Kraftwirkung des Permanentmagneten so, dass die positive Strom-Halbwelle den Anker in die eine und die negative Halbwelle den Anker in die andere Richtung bewegt. In beiden Bewegungsrichtungen ergänzen sich hierbei elektromagnetische und Federkraft.

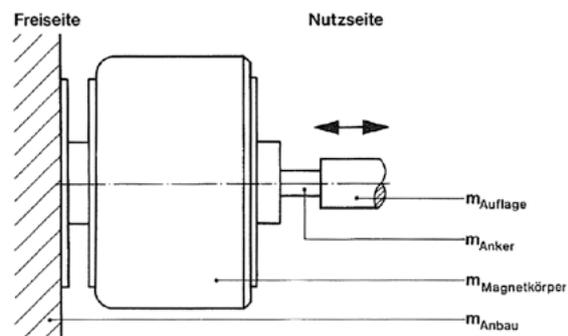
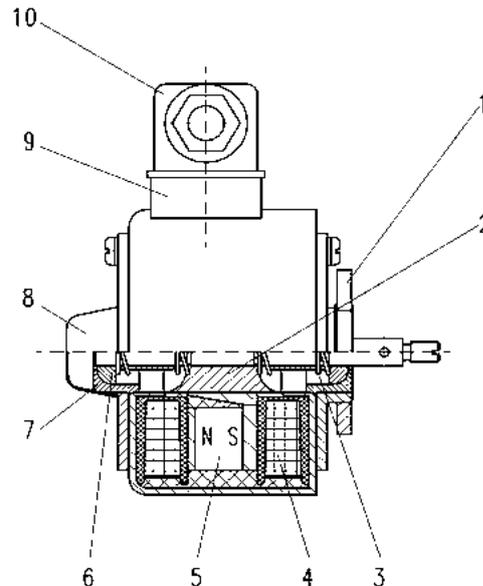


Bild 29 Linear-Schwingantrieb, oben Aufbau, unten Anwendungsprinzip

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| 1 Befestigungsflansch | 6 Kalottenlager |
| 2 Anker | 7 Kalottenlagerschale |
| 3 Feder | 8 Verschlusskappe |
| 4 Spule | 9 Gerätestecker |
| 5 PE-Magnet | 10 Gerätesteckdose |

Die Frequenz der resultierenden Kraft auf den Anker entspricht der Frequenz der angelegten Wechselspannung, die den Anker mit der Antriebsachse im gleichen Rhythmus linear bewegt. Der Linearvibrator kann als Schwingantrieb (OLV54...51) verwendet werden, indem er mittels Befestigungsflansch an einer großen Freimasse befestigt wird. Dann kann an der Achse eine Schwingbewegung abgenommen werden (Bild 29 unten).

In einer weiteren Anwendungsform kann auf der Achse ein Gewicht angebracht werden. Dann sind Nutz- und Freiseite im Unterschied zu Bild 29 unten vertauscht und der Antrieb arbeitet als Rüttler ähnlich der Gerätetypen OSR....

Gerätetypen OMW... (Bild 30) „Wurfvibrator“

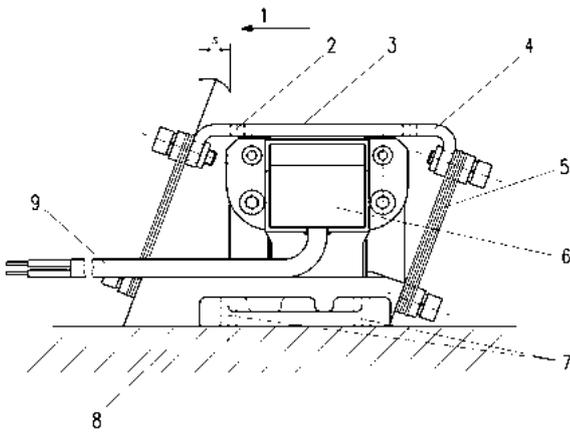


Bild 30 Wurfvibrator

- | | |
|---|-----------------------|
| 1 Förderrichtung | 6 Erregersystem |
| 2 Gewinde zur Befestigung der Förderrinne | 7 Befestigungsbohrung |
| 3 Nutzseite | 8 Freiseite |
| 4 Ankerplatte | 9 Anschlusskabel |
| 5 Blattfederpaket | s Schwinghub |

Beim Wurfvibrator (Bild 30) ist der Magnetkörper mit der Erregerwicklung auf einem Sockel befestigt. Darüber befindet sich die Ankerplatte deren Polflächen durch einen Luftspalt getrennt, parallel zu denen des Magnetkörpers stehen. Die Ankerplatte und der Sockel sind durch schräggehende Blattfedern (Neigung ca. 20 °) miteinander verbunden. Die Spule besitzt eine integrierte Einweggleichrichtung (Typen OMWxxxx1 ...OMWxxxx3). Der Typ OMWxxxx4 ist durch Dauermagnete vormagnetisiert und arbeitet ohne Einweggleichrichtung.

Wird an die Erregerwicklung eine Wechselspannung gelegt, so entsteht bei allen Typen eine mit Netzfrequenz pulsierende Anzugskraft zwischen Erregersystem und Ankerplatte.

Durch die schräggehend angeordneten Blattfedern führt die Ankerplatte, mit der darauf zu befestigenden Förderrinne, eine wurfartige Schwingbewegung aus und transportiert Schüttgut in Förderrichtung. Bei größeren oder relativ weit ausladenden Förderinnen ist es sinnvoll, anstatt eines großen Wurfvibrators mehrere kleinere Geräte einzusetzen.

Für alle Baugrößen der Kendrion-Wurfvibratoren sind verschiedene Blattfedern erhältlich, mit denen die Geräte innerhalb ihrer Einsatzgrenzen an das Belastungsgewicht angepasst werden können. Die entsprechenden Kennlinien sind im Datenblatt angegeben. Der Schwinghub ist zusätzlich noch mittels Frequenzregelgerät bzw. Phasenanschnittsteuerung ohne zusätzliche Einweggleichrichtung einstellbar. Es muss besonders darauf geachtet werden, dass der maximale Schwinghub nicht überschritten wird, da hierdurch schwere Schäden bzw. Zerstörung des Gerätes eintreten können.

Gerätetypen OAB... (Bild 31) „Bogenvibrator“

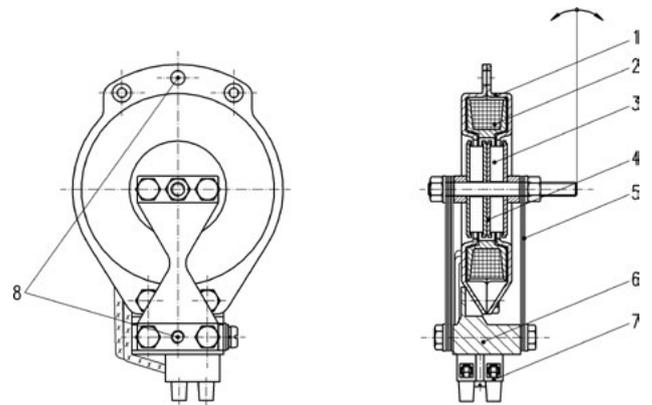


Bild 31 Bogenvibrator

- | | |
|-------------------|------------------|
| 1 Magnetkörper | 4 Anker komplett |
| 2 Erregerwicklung | 5 Feder |
| 3 Permanentmagnet | 6 Gerätesockel |
| 7 Anschlussklemme | 8 Befestigung |

Der Magnetkörper des Bogenvibrators (Bild 31) besteht aus zwei Ringschalen, welche die Erregerwicklung umschließen. Er ist fest mit dem Gerätesockel verbunden. Der Anker, bestehend aus zwei axial gegensinnig gepolten runden Permanentmagneten und jeweils zwei Polscheiben, sitzt zwischen Blattfedern, die an zwei gegenüberliegenden Seiten des Gerätesockels befestigt sind. Durch die beiden Permanentmagnete ist das System vormagnetisiert. Im Ruhezustand befindet sich zwischen je zwei Polscheiben des Ankers ein Ringpol des Magnetkörpers. Wird an die Erregerwicklung eine Wechselspannung gelegt, ziehen sich jeweils die ungleichen Pole von Anker und Magnetkörper an. Die Frequenz der bogenförmigen Ankerbewegung entspricht der Frequenz der angelegten Wechselspannung. Der Bogenvibrator kann als Schwingantrieb und mit einem Zusatzgewicht auf der Ankerwelle als Rüttler verwendet werden.

Anwendungsbeispiele (Tabelle 5)

Anwendung	Gerätetyp
Zum Antrieb verschiedenartiger schwingfähig gelagerter Teile (z.B. für Wendelförderer, Linearförderer, Vibrationstische, Siebtechnik), Zur Bunker- und Rutschenberüttelung	OAC...
Als Antrieb für Linearbewegung	OLV...
Als Unterbau und Antrieb von Förderinnen, Dosier- und Abfüll-einrichtungen	OMW...
Zur Berüttelung von kleineren Rutschen und Bunkern; als Antrieb zum Sortieren, Dosieren, Rütteln	OAB... OSR... OLV...

Tabelle 5: Anwendungsbeispiele für Kendrion - Schwingantriebe

Elektrischer Anschluss

In den Geräteblättern sind die bei den einzelnen Geräten verschiedenen Anschlussarten angegeben. Die Geräte dürfen nur den Angaben auf dem Leistungsschild entsprechend angeschlossen werden. Besonders sind Spannung und Frequenz zu beachten. Häufig kommt es vor, dass mehrere Geräte parallel an einem Regelgerät betrieben werden. Sollen die Geräte zur Vergrößerung der Schwingenergie gleichphasig schwingen, so müssen die Geräte auch elektrisch gleichphasig angeschlossen werden.

Für den Fall, dass Schwingungskompensation erwünscht ist, können die Geräte elektrisch gegenphasig angeschlossen werden. Dann müssen allerdings die schwingenden Massen mechanisch entkoppelt sein. Mit dieser Methode kann man leicht die benötigte Freimasse reduzieren. Allerdings ist hierfür eine exakte Abstimmung nötig.

Während des Betriebes können die Amplituden sämtlicher Geräte elektrisch gesteuert werden (z.B. Phasenanschnittsteuerung).

4.4. Abstimmung der Gerätetypen auf den Einsatzfall

Allgemein

Jedes Schwingssystem weist eine eigene Resonanzfrequenz auf die abhängt von seiner Masse, der Federkonstante und dem Gewicht des Fördergutes.

Wird ein Schwingförderer ohne Dämpfung mit seiner Resonanzfrequenz betrieben ergeben sich theoretisch unendliche große Schwingweiten sowie der geringsten Energiebedarf, allerdings wäre das System nicht beherrschbar. Auch ein gedämpftes System das in seiner Resonanz schwingt ist unbrauchbar, da jede Änderung der Dämpfung durch mehr oder weniger Fördergut eine Änderung der Schwingweite und damit der Fördergeschwindigkeit bewirkt.

Andererseits darf die Schwingfrequenz des Systems nicht zu weit von der Resonanzfrequenz entfernt sein, zumal dann keine oder nur wenig Schwingbewegung erzeugt würde.

Anhand der der Kurven in Bild 32 wird der Zusammenhang zwischen Dämpfung und der damit geänderten Resonanzfrequenz deutlich. Mit zunehmender Dämpfung wird f_{res} des Systems kleiner.

Durch Abstimmung des Systems oberhalb (überkritischer Betrieb) oder unterhalb (unterkritischer Betrieb) der Resonanzfrequenz können unterschiedliche Eigenschaften des Förderers erreicht werden.

Überkritischer Betrieb (Bild 32):

Bei überkritischem Betrieb ist die Antriebsfrequenz f_a größer als die Resonanzfrequenz f_{res} .

Durch größere Dämpfung (b – c) infolge von z.B. mehr Fördergut wird der Resonanzabstand grösser und die Schwingweite nimmt ab, d.h. die Schwingweite / Förderleistung ist starken Schwankungen unterworfen. Die Kraft und die Schwingbewegung verlaufen in dieser Betriebsart gegenphasig, (der Augenblick des größten Luftspalt fällt ca. mit dem

Strommaximum zusammen) was eine größere Gegenmasse erfordert und zu einer höheren Stromaufnahme führt.

In der Praxis wird diese Art der Abstimmung bei kleinen Förderern in der Montagetechnik eingesetzt, da hier große Gegenmassen aus konstruktiven Gründen vorhanden sind und wegen hoher Dämpfung die Resonanzkurve sehr flach verläuft.

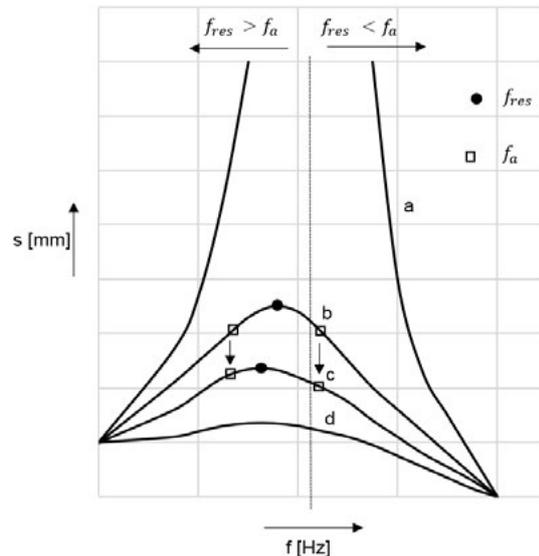


Bild 32 Schwinghub s in Abhängigkeit vom Verhältnis Antriebsfrequenz f_a zur Eigenfrequenz f_{res}

a ohne Dämpfung (theoretisch)

b, c, d größer werdende Dämpfung

f_a Antriebsfrequenz

f_{res} Resonanzfrequenz

$f_{res} > f_a$ unterkritischer Betrieb

$f_{res} < f_a$ überkritischer Betrieb

Unterkritischer Betrieb (Bild 32):

Bei unterkritischem Betrieb ist die Antriebsfrequenz f_a kleiner als die Resonanzfrequenz f_{res} .

Durch größere Dämpfung (z.B. Kurve b – Kurve c) infolge von z.B. mehr Fördergut wird der Resonanzabstand kleiner und die Schwingweite nimmt wieder zu. Hier wirken die Abnahme der Schwingweite durch Dämpfung und Annäherung von Antriebs- und Resonanzfrequenz entgegengesetzt, das System wird unempfindlich gegen Belastungsschwankungen.

Die Kraft und die Schwingbewegung verlaufen in dieser Betriebsart gleichphasig, (der Augenblick des kleinsten Luftspalts fällt ca. mit dem Strommaximum zusammen)

Diese Art der Abstimmung wird bei großen Förderergewichten und bei zum Ankoppeln neigendem Fördergut gewählt.

Fördergut	Material, das durch ein Schwingsystem gefördert wird.
Schikanen	Sortierelemente, die im Förderer eingebracht sind und das Fördergut lagerichtig orientieren
Linearförderer Rinnenförderer Schiene	Das Fördergut wird in einer axialen Aufnahme geradlinig transportiert
Wendelförderer Rundförderer Sortierer	Das Fördergut wird in einem runden Fördergerät spiralförmig aufwärts gefördert, ggf. über „Schikanen“ sortiert und in definierter Lage (lagerichtig) zur Weiterverarbeitung bereitgestellt.
Vorratsbunker Bunker	Elevator, Förderband, Plattenförderer oder großvolumiger Linearförderer zur automatischen, sensorgesteuerten Nachfüllung von Fördergut in den Rundförderer
Stausensor Materialsensor	Sensor, der feststellt ob an einer bestimmten Stelle Fördergut vorhanden / nicht vorhanden ist und Maßnahmen zum Materialfluss ableitet
Stauschaltung Füllstandsteuerung	Über ein (Stau)sensorsignal und einstellbare Zeitverzögerungen wird der Materialstand um einen Punkt konstant gehalten um unnötige Laufzeiten des Förderers zu vermeiden
Bunkersteuerung	Über ein Sensorsignal und einstellbaren Zeitverzögerungen wird der Materialstand im Rundförderer überwacht und auf Anforderung aus dem Bunker nachgefüllt (um längere Laufzeiten ohne Personal zu gewährleisten)
Min-Max Steuerung Streckensteuerung	Über zwei Stausensoren und einstellbare Zeitverzögerungen wird der Materialstand über eine Strecke konstant gehalten um unnötige Laufzeiten des Förderers zu vermeiden
tein / taus	Ein - bzw. Ausschaltverzögerung des Förderantriebes
Taktbetrieb	Förderer „taktet“ über einstellbare EIN- / AUS Zeiten zum Nachfüllen oder separieren von Teilen
Umin / Umax	Um den Sollwertbereich unterschiedlicher Fördererantriebe anzupassen kann die minimale und maximale Ausgangsspannung des Steuergerätes vorgegeben werden. Zwischen diesen zwei Werten liegt der einstellbare Sollwertbereich
Sanftanlauf	Der Förderer fährt nach dem Einschalten über eine zeitlich einstellbare Rampe auf seine eingestellte Fördergeschwindigkeit um ein Kippen / Herabfallen bereits sortierter Teile oder Anschlagen des Magnetankers zu verhindern
Sanftstopp	Der Förderer fährt beim Ausschalten über eine zeitlich einstellbare Rampe auf „null“ um eine Lageänderung bereits sortierter Teile zu verhindern
Luftspalt Ruheluftspalt	Abstand zwischen Magnet und Anker bei ruhendem Förderers
Fördergeschwindigkeit Förderleistung	Fördermenge pro Zeiteinheit
Schwingweg	Bewegung des Förderers relativ zum Ruheluftspalt (2 x Schwingamplitude)
Schwingfrequenz	Die mechanische Schwingfrequenz des Förderers, bei Triac-/Thyristorsteuerungen abhängig vom speisenden Netz, bei Frequenzregelgeräten unabhängig vom speisenden Netz
Resonanzfrequenz	Eigenfrequenz des Systems (min. Leistungsaufnahme, maximale, theoretisch unendliche Amplitude).
Betriebsfrequenz	Die vom speisenden Netz (Triac-/Thyristorsteuerung) oder vom Frequenzregelgerät vorgegebene Frequenz
Resonanzabstand	Differenz zwischen Resonanzfrequenz und Betriebsfrequenz
überkritischer Betrieb	Betriebsfrequenz liegt über der Resonanzfrequenz Schwingbreite / Schwingweg ändert sich durch Belastung / Dämpfung.
unterkritischer Betrieb	Betriebsfrequenz liegt unter der Resonanzfrequenz Schwingbreite / Schwingweg rel. unabhängig bei Belastung / Dämpfung.
Halbwellenbetrieb 50 Hz – Betrieb 3000 min⁻¹.	Schwingfrequenz ist gleich Netzfrequenz, nur eine Netzhalbwellen wird gesteuert Beispiel: Netzfrequenz 50Hz \triangleq 3000 min ⁻¹ . Netzfrequenz 60Hz \triangleq 3600 min ⁻¹
Vollwellenbetrieb 100 Hz – Betrieb 6000 min⁻¹.	Schwingfrequenz ist doppelte Netzfrequenz, beide Netzhalbwellen werden gesteuert Beispiel: Netzfrequenz 50Hz \triangleq 6000 min ⁻¹ ., Netzfrequenz 60Hz \triangleq 7200 min ⁻¹ .

Tabelle 6: Fachbegriffe für Schwingantriebe

4.5. Ansteuergeräte für Schwingmagnete

Frequenzregelgerät (Bild 35)

Ein speziell für Schwingförderantriebe konzipierte Frequenzumrichter erzeugt eine quarzgenaue, einstellbare, von der Netzfrequenz unabhängige Antriebsfrequenz. Diese Antriebsfrequenz kann in Microsteps von 0,1Hz bzw. 1Hz an die Resonanzfrequenz des Schwingers angepasst werden, der Einstellbereich geht von 5...200Hz. Die ausgangsseitige Wechselspannung ist sinusförmig, so dass im Schwingantrieb eine saubere Schwingungserzeugung, wie bei Netzeinspeisung, stattfinden kann.

Für den Anwender heißt dies, dass die komplizierte mechanische Abstimmung und evtl. der Federwechsel entfällt, und der Schwinger elektronisch auf optimales Laufverhalten abgestimmt werden kann. Grundsätzlich wird mit der einstellbaren Antriebsfrequenz (Bild 33) die schwingungstechnische Anpassung des Feder-Masse Systems (Bild 32) sichergestellt, so daß die gewollte unterkritische oder überkritische Abstimmung gegeben ist.

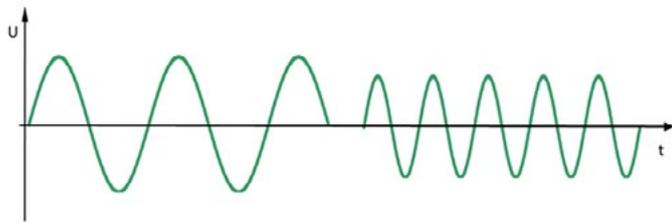


Bild 33 Verschiedene Frequenzen und Spannungen zur Ansteuerung von Schwingmagneten

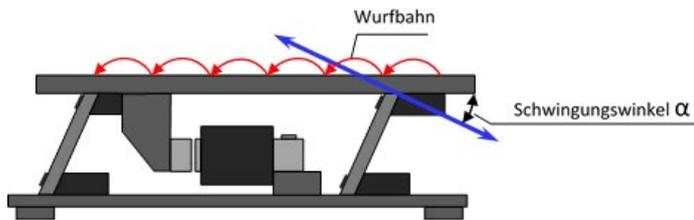


Bild 34 Funktion eines Schwingförderers, der „Mikrowurf“

Aufgrund ihres Reibverhaltens, der Partikelgröße und des spezifischen Gewichts verhalten sich verschiedene Materialien als Fördergut sehr spezifisch. Die einzelnen Partikel werden unter einem durch die Stellung der Blattfedern gegebenen Wurfwinkel (= ca. Schwingungswinkel α) zu einem „Mikrowurf“ angestoßen (Bild 34). Die Frequenzabstimmung erlaubt hier eine exakte Anpassung an das Optimum für das jeweilige Material. Hierbei wird in erster Linie die Schwingfrequenz aber auch der Schwinghub verändert.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, den Schwinghub und damit auch die Förderleistung durch Änderung der zugeführten Magnetspannung einzustellen.

Das Frequenzregelgerät hat weitere Eigenschaften, die speziell auf den Betrieb mit Schwingantrieben angepasst sind, beispielsweise Fernsteuerung über Potentiometer, Halb-Vollwellenbetrieb sowie Sanftan- und -auslauf.



Bild 35 Frequenzregelgerät

Phasenanschnittsteuerungen



Bild 36 Phasenanschnittsteuerung 33 43304B00 (links), 33 43303B00 (rechts)

Die Kendrion Phasenanschnittsteuerungen sind jeweils zur Erzeugung einer einstellbaren Wechselspannung oder pulsierenden Gleichspannung (Halbwellenbetrieb) (Bild 37) zur Versorgung von Schwingantrieben vorgesehen.

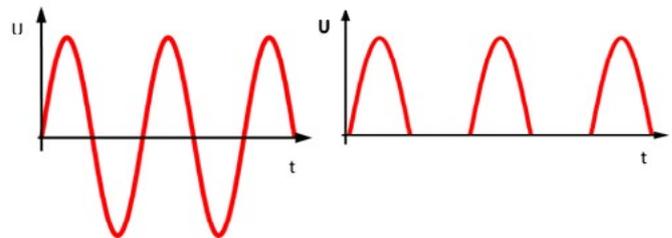


Bild 37 Vollwellenbetrieb (links) und Halbwellenbetrieb durch Einweggleichrichtung (rechts)

Die Geräte 3343303/04/B00 erlauben eine Schaltschrankmontage auf Hut - Schiene. Die Spannung kann direkt oder über externes Potentiometer eingestellt werden. Die Geräte besitzen einen mit 24VDC Schalteingang und liefern maximal 2/3A AC und Spannungen von 0V bis 0,95U_{ein}.

Eignung der Kendrion-Schwingantriebe für Halb/Vollwellenbetrieb von Frequenzregelgerät und Phasenanschnittsteuerung (Tabelle 7)

Bei Antrieben, die bereits eine Vormagnetisierung besitzen, ist die Ansteuerung mit Sinus-Halbwellen nicht zu empfehlen. Das Ergebnis wird nicht zufriedenstellend sein, da die Überlagerung des Dauermagnet – und des Spulenmagnetfeldes nicht wie beabsichtigt erfolgen. Ausserdem kann das Ergebnis polaritätsabhängig sein.

Gleiches gilt, wenn wie bei einigen OMW... Typen, bereits eine Einweggleichrichtung im Antrieb integriert ist. Hier bringt der Halbwellenbetrieb aus dem Ansteuergerät im besten Fall keinen Vorteil.

Typ	Halbwelle	Vollwelle	Bemerkung
OAC...	3000min ⁻¹	6000min ⁻¹	Ganzes Frequenzspektrum nutzbar
OAB...	Nicht geeignet	3000min ⁻¹	Permanentmagnete integriert
OMW...	Nicht geeignet	3000min ⁻¹	Permanentmagnete, bzw Einweggleichrichtung integriert
OLV...	Nicht geeignet	3000min ⁻¹	Permanentmagnete integriert
OSR...	Nicht geeignet	3000min ⁻¹	Permanentmagnete integriert

Tabelle 7: Einsatzmöglichkeiten und Schwingfrequenzen der Kendrion Schwingantriebe unter Verwendung der Kendrion Phasenanschnittsteuerungen bzw. Frequenzregelung, Schwingfrequenzen bezogen auf 50Hz Antriebsfrequenz

5. Formelzeichen und SI-Einheiten

Formelzeichen	Größe	Einheit Zeichen	Einheitenname
GEOMETRIE			
A, S	Fläche, Flächeninhalt, Oberfläche	m ²	Quadratmeter
a	Abstand	m	Meter
α, β, γ	Ebener Winkel	rad	Radian
b	Breite	m	Meter
d, δ	Dicke, Schichtdicke, Durchmesser	m	Meter
δ _L	Luftspalt	m	Meter
h	Höhe	m	Meter
l	Länge	m	Meter
r	Radius, Halbmesser	m	Meter
s	Weglänge, Kurvenlänge	m	Meter
V, τ	Volumen, Rauminhalt	m ³	Kubikmeter
r _p	Polteilung	m	Meter
ZEIT			
a	Beschleunigung	m/s ²	
α	Winkelbeschleunigung	rad/s ²	
f	Frequenz	Hz	Hertz
g	Örtliche Fallbeschleunigung	m/s ²	
n	Drehzahl, Umdrehungsfrequenz	s ⁻¹	
ω	Winkelgeschwindigkeit	rad/s	
T, τ	Zeitkonstante	s	Sekunde
t	Zeit, Zeitspanne, Dauer	s	Sekunde
v	Geschwindigkeit	m/s	
MAGNETISMUS			
B	Magnetische Flußdichte, magnetische Induktion	T	Tesla
Φ	Magnetischer Fluß	Wb	Weber
H	Magnetische Feldstärke, magnetische Erregung	A/m	
L	Induktivität, Selbstinduktivität, gegenseitige Induktivität	H	Henry

Formelzeichen	Größe	Einheit Zeichen	Einheitenname
MECHANIK			
E	Elastizitätsmodul	N/m ²	
F	Kraft	N	Newton
F _G	Gewichtskraft	N	Newton
J	Trägheitsmoment Massenmoment 2. Grades	kgm ²	Kilogramm Quadratmeter
M	Drehmoment	Nm	Newtonmeter
m	Masse, Gewicht als Wäageergebnis	kg	Kilogramm
P	Leistung	W	Watt (1J/s=1W)
p	Druck	Pa	Pascal
ρ	Dichte	kg/m ³	
σ	Normal-, Zug-, Druck- und Biegespannung	N/m ²	
W	Arbeit	J	Joule
η	Wirkungsgrad	1	
μ, f	Reibungszahl	1	
WÄRME			
α	Widerstandskoeffizient	1/k	
T, Θ	Temperatur, thermodynamische Temperatur	K	Kelvin
t	Celsius-Temperatur	°C	Celsius
ΔT = Δt = Δv	Temperaturdifferenz, Übertemperatur	K	Kelvin
ELEKTRIZITÄT			
C	Elektrische Kapazität	F	Farad
G	Elektrischer Leitwert, Wirkleitwert, Konduktanz	S	Siemens
I	Elektrische Stromstärke	A	Ampere
P	Wirkleistung	W	Watt
R	Elektrischer Widerstand	Ω	Ohm
S, P _s	Scheinleistung	W	Watt
U	Elektrische Spannung, elektrische Potenzialdifferenz	V	Volt
X	Blindwiderstand, Reaktanz	Ω	Ohm
Z	Wellenwiderstand, Scheinwiderstand, Impedanz	Ω	Ohm

6. Quellenverzeichnis

Die Richtlinie VDE 0580:2011-11 ist Grundlage dieser Technischen Erläuterungen. Es wird daraus sowohl direkt als auch indirekt zitiert.

Katalogübersicht

Hubmagnete



Classic Line

- Rahmenhubmagnete
- kompakte Bauform
- individuelle Befestigung
- mono- und bistabile Ausführung



High Performance Line

- quadratische Hubmagnete
- hohe Kraft bei kleinem Bauvolumen
- modularer Baukasten
- kurze Anzugszeiten



High Power Line

- runde Hubmagnete
- hohe Kräfte und große Hubwege
- kurze Schaltzeiten
- auch Umkehrhubmagnete



Control Power Line

- Steuerhubmagnete
- extrem schnelles Schalten
- kurze Hübe
- präzises Schalten

Haftmagnete



Hahn CQ^{Line}

- Türhaftmagnete
- Design und Funktionalität
- VdS, CE, EN 1155, EN 14637 geprüft
- große Variantenvielfalt



Industrial Line

- Industriehaftmagnete
- hohe Haftkraft bei geringer Leistungsaufnahme
- kompakte Bauart
- Anschlüsse variabel

Schwingmagnete



Oscillating Line

- Schwingmagnete
- breites Produktspektrum für den Schüttguttransport
- geringer Verschleiß
- kompakte Bauform



Elevator Line

- Spreizmagnete
- speziell für Aufzugsbremsen konzipiert
- extrem hohe Kräfte
- beliebige Einbaulage



ATEX Line

- explosionsgeschützte Magnete
- verhindern das Entstehen von Funken und Lichtbögen
- dynamisches und zuverlässiges Schalten



Locking Line

- Verriegelungsmagnete
- hohe Querkräfte
- integrierte Rückmeldung der Verriegelungsfunktion
- kompakte Bauart



System Line

- werden mit Wechselstrom betrieben
- extrem schnelle Einschaltzeiten
- sehr hohe Anzugskräfte

Sonderlösungen

- **Drehmagnete**
- **Baugruppen**
- **kundenspezifische Lösungen**

Für besondere oder kundenspezifische Lösungen nehmen Sie bitte Kontakt mit uns auf:

Kendrion (Donaueschingen/Engelswies) GmbH
Industrial Magnetic Systems
Vertriebsteam Donaueschingen und Engelswies
Telefon: +49 771 8009 3770
Mail: sales-ims@kendrion.com



WE MAGNETISE THE WORLD

Germany : Headquarters

Kendrion (Donaueschingen/Engelswies) GmbH

August-Fischbach-Straße 1

78166 Donaueschingen

Telefon: +49 771 8009 3770

Telefax: +49 771 8009 3634

sales-ims@kendrion.com

Kendrion (Donaueschingen/Engelswies) GmbH

Hauptstraße 6

72514 Inzigkofen-Engelswies

Telefon: +49 7575 208 3199

Telefax: +49 7575 208 3190

sales-ims@kendrion.com

Weitere Kontakte finden Sie unter www.kendrion-ims.com

