

Auslegung von Präzisionsgetrieben mittels Internet-Expertensystem

WINFRIED HAHN

Neben heute selbstverständlichen Anforderungen wie Produktqualität, Zuverlässigkeit und After Sales Service spielt zukünftig in zunehmendem Maße die schnelle und exakte den Anforderungen entsprechende Produktauslegung und Dokumentation eine wichtige Rolle. Die hierfür benötigten Daten werden heute nicht nur auf CD, sondern häufig auch Online im Internet zur Verfügung gestellt. Grund hierfür ist nicht nur, dass die Flut von Silberlingen einen rasch zum Discjockey macht, sondern auch, dass CDs von ihrem eigenen Update überholt werden. Durch die Verfügbarkeit der Berechnungsprogramme im Internet kann der Kunde jederzeit auf die aktuellsten Daten zugreifen. Das aufwändige Updaten der Berechnungsprogramme mittels CD entfällt.

Einleitung

Im Folgenden wird eine neue Programmversion vorgestellt, die seit April 2002 auf

Dipl.-Ing. Winfried Hahn ist Produktmanager bei der Harmonic Drive AG in 65555 Limburg

der Harmonic Drive Homepage (www.harmonicdrive.de) verfügbar ist. Das Programm kann in der vorliegenden Ausbaustufe Motor-Getriebe-Kombinationen berechnen. Damit wird die erforderliche Zeit für die relativ komplexe Berechnung von Lastzyklen und der zugehörigen Drehmomente, Lebensdauern usw. auf ein Minimum reduziert. Da das Programm vom typischen Benutzer nicht regelmäßig, sondern nur anlässlich der mit einer Neukonstruktion beziehungsweise Überarbeitung verbundenen Getriebeauslegung benutzt wird, wurde bei der Erstellung des Programms besonderer Wert auf einfache Bedienbarkeit und Übersichtlichkeit gelegt. Das Resultat ist ein intuitiv zu bedienendes Programm, mit dem man in wenigen Minuten und ohne Schulung eine komplette Antriebsauslegung durchführen und dokumentieren kann.

Automatische Berechnung aller Zyklusdaten

Der besondere Vorteil des Programms liegt neben der einfachen Bedienbarkeit in der automatischen Berechnung aller Zyklusdaten. Das Programm berechnet eigenständig die für die Beschleunigung, die Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit und die Verzögerung erforderlichen Zeitinkremente. Selbstverständlich werden die zugehörigen Drehmomente usw. ebenfalls berechnet. Dabei werden die maximal zulässigen Kennwerte von Motor und Getriebe beachtet. Zusätzlich berücksichtigt das Programm Algorithmen und Auswahlkriterien, die auf der umfangreichen Anwendungs-

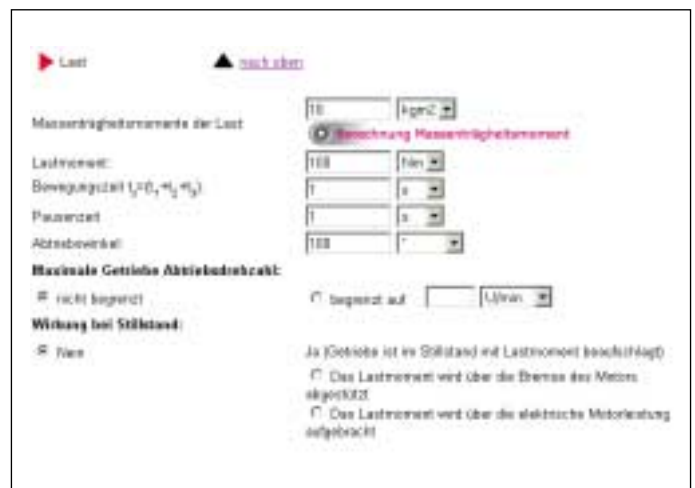
fahrung von Harmonic Drive beruhen. So wird z. B. die beabsichtigte Anwendung bei der Getriebeauslegung berücksichtigt. Damit weist das Auslegungsprogramm wichtige Eigenschaften eines Expertensystems auf. Das Programm wird permanent ausgebaut, so dass zukünftig neben Kombinationen aus Motoren unterschiedlichster Hersteller und Harmonic Drive-Getrieben und -Planetengetrieben auch Harmonic Drive-Servoantriebe, z. B. die Hohlwellenantriebe vom Typ FHA oder die hochdynamischen Servoantriebe von Typ FFA und FPA, ausgelegt werden können.

Beschreibung des Auslegungsprogramms

Bevor die eigentliche Berechnung beginnen kann, muss das Programm natürlich mit gewissen Grunddaten „gefüttert“ werden. Zu den Basis-Eingaben gehören beispielsweise Angaben wie die zu berechnende Motor-Getriebe-Kombination sowie die Betriebsart, die in einem klar strukturierten Menü ausgewählt werden (**Bild 1**). Im nächsten Menüpunkt erfolgen Angaben zur Last (**Bild 2**). Dabei kann ein Unterprogramm zur Berechnung von Massenträgheitsmomenten aufgerufen werden. Zusätzlich können hier Angaben zur gewünschten Maximaldrehzahl gemacht werden. Darüber hinaus wird definiert, ob der Motor die Last im Stillstand aktiv hält oder ob die Last mittels Bremse gehalten wird. Dieser Unterschied wird bei herkömmlichen Berechnungen oft nicht berücksichtigt, obwohl er einen erheblichen Einfluss auf das effektive Motormoment haben kann. Da das



1: Eingabe der Basisdaten



2: Je nach Einsatzort können die entsprechenden SI-Einheiten gewählt werden

| Anwendung | | DK3.030 | |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---|
| Einsatz (Berechnungs)stufe | Anforderung an Gleichlauf | Motorleistung und Dynamik | Anwendungsbeispiele |
| mittel | mittel | mittel | Langsam drehende Drehtische, langsam drehende Schweißroboter Grundachsen (kein Laserschweiß), langsam drehende Schweiß-Schweißköpfe, -Palettenträgerachsen |
| | | hoch | Knickarmroboter Grundachsen, Knickarmroboter Handachsen mit geringer Dynamikanforderung, Werkzeugwechsler, Werkzeugmagazine, Schweiß-Profilschneisen in niedrigtrotter Getriebe und Messgeräten |
| hoch | hoch | mittel | Standard-Anwendungen im allgemeinen Maschinenbau, Schweißroboter, Palettenträger, hochdynamische Werkzeugspindel, -rotor, -magazine, Knickarmroboter Handachsen, Spindel, Portalspindel, Polierspindel, Dynamische Schweißköpfe, Schweißroboter Grundachsen (Laserschweiß), Schweiß- und Positionierachsen in niedrigtrotter Getriebe |
| | | hoch | 5-Achsen in 5-Achsen Schweißroboter Handachsen (Laserschweiß), Fräsköpfe für Stoffbearbeitung 5-Achsen in Drehmaschinen, Fräsköpfe Leichtmetallbearbeitung, Fräsköpfe Metallbearbeitung (Spindel etc.) |
| hoch | mittel | mittel | |

3: Angabe der Einsatzbedingungen

Programm für den weltweiten Gebrauch konzipiert ist, sind die international gebräuchlichen Einheiten grundsätzlich frei wählbar.

Natürlich spielt bei der Auslegung auch die beabsichtigte Anwendung eine Rolle. Dies wurde bei der Programmierung entsprechend berücksichtigt (Bild 3). Basierend auf den umfangreichen Erfahrungen des Unternehmens mit unterschiedlichsten Anwendungen wurde ein Berechnungsverfahren entwickelt, das bei der Auslegung die Getriebegröße und -übersetzung ins Langsame unter anderem als Funktion der beabsichtigten Anwendung berechnet.

Der Benutzer des Programms kann bei der Auswahl des Getriebetyps die Getriebebaureihe vorwählen (Bild 4). Die Produktauswahl verzweigt hier zwischen mechanischen Präzisionsgetrieben und Präzisionservoantrieben. Die Angabe der Umgebungstemperatur ist zur automatischen Berechnung des Getriebewirkungsgrades erforderlich. Die geforderte Getriebelebensdauer ist ebenfalls ein wichtiger Parameter für die sachgerechte Dimensionierung des Getriebes beziehungsweise des Servoantriebs. Da die Wärmeabfuhr des Motors unter anderem von dessen Anflanschung abhängt, ist eine entsprechende Eingabe vorgesehen. Wenn der Motor di-

Getriebe **DK3.030**

Auswahl Getriebetyp

Kategorie: Serie:

Umgebungstemperatur: °C

Geforderte Getriebelebensdauer LSD: h

Geforderte Getriebelebensdauer LTD: h

Motor an Getriebe angeflanscht Typ (ohne Distanz)

Motor an Maschinengetriebe angeflanscht Typ (mit Distanz)

Berechnen

Wir empfehlen den Einsatz eines der folgenden Getriebe

| Bitte wählen | Getriebetyp | Getriebe Kennzahl * | Standard Schmierstoff | Schmierstoff |
|-------------------------------------|----------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | HFUC-40-50-2UH | 00 | 00 | Harmonic Drive SK-1A |
| <input type="checkbox"/> | HFUC-40-50-2UH | 00 | 00 | Harmonic Drive 4Bnc2 |
| <input type="checkbox"/> | HFUC-40-50-2UH | 00 | 00 | EP - ISO VG 68 |
| <input type="checkbox"/> | HFUC-40-50-2UH | 00 | 00 | Harmonic Drive SK-1A |
| <input type="checkbox"/> | HFUC-40-50-2UH | 00 | 00 | Harmonic Drive 4Bnc2 |
| <input type="checkbox"/> | HFUC-40-50-2UH | 00 | 00 | EP - ISO VG 68 |

4: Auswahl des Getriebetyps

Motor **DK3.030**

Sie können einen Motorhersteller wählen. Das Programm schlägt Ihnen dann passende Motortypen dieses Herstellers vor. Alternativ können Sie Motorhersteller selbst eingeben.

Motor Hersteller wählen: Motor selbst definieren

Wir empfehlen den Einsatz eines der folgenden Motore

| | Alternativer Motortyp | Katalogdaten |
|----------------------------|---|--|
| Max. Drehmoment: | <input type="text" value="13.00"/> Nm | <input type="text" value="13.00"/> Nm |
| Nennmoment: | <input type="text" value="4.48"/> Nm | <input type="text" value="4.48"/> Nm |
| Max. Drehzahl: | <input type="text" value="3350"/> U/min | <input type="text" value="3350"/> U/min |
| Nennzahl: | <input type="text" value="738"/> A | <input type="text" value="730"/> A |
| Maximaldrehmoment Rotor: | <input type="text" value="1100000"/> kgm ² | <input type="text" value="800000"/> kgm ² |
| Maximaldrehmoment Distanz: | <input type="text" value="1000000"/> kgm ² | <input type="text" value="800000"/> kgm ² |
| Drehmomentkonstante: | <input type="text" value="0.68"/> Nm/A | <input type="text" value="0.60"/> Nm/A |

5: Auswahl des Motorenherstellers

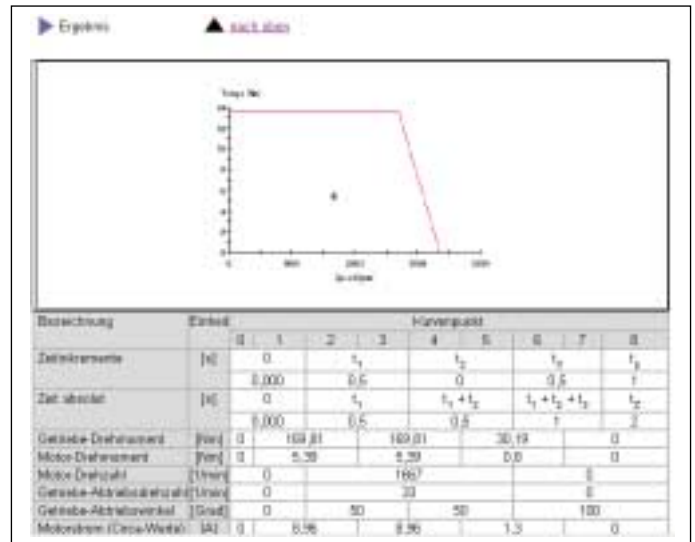
rekt an das Getriebe angeflanscht wird, wird das zulässige effektive Motormoment in der Berechnung um 15 % reduziert. Bei einer Anflanschung des Motors an das Maschinengetriebe wird ohne Reduzierung gerechnet.

Wurden alle notwendigen Basisangaben gemacht, erfolgt die eigentliche Ermittlung des Getriebes oder Antriebes. Durch Betätigung des Buttons „Berechnen“ in Bild 4 wird zunächst der Zyklus berechnet. Im Gegensatz zu anderen Auslegungsprogrammen muss man im hier gezeigten Programm keine Beschleunigung oder gar einen vollständigen Zyklus mit Abtriebsmomenten usw. eingeben. Dies alles erledigt das Programm automatisch. Der Zyklus wird unter Berücksichtigung aller Vorgaben derart berechnet, dass die kleinstmöglichen Beschleunigungsmomente auftreten. Basierend auf dieser Berechnung werden die passenden Getriebe der vorausgewählten Baureihe angezeigt (Bild 4). Dabei zeigt die allgemein zugängliche Programmversion ausschließlich Berechnungsergebnisse mit Standardschmierstoff. Mitarbeiter von Harmonic Drive haben über einen Code Zugang zu einer Programmversion, die zusätzlich Berechnungsergebnisse mit Sonderschmierstoffen zeigt. Damit können z. B. Anwendungen aus dem

Tief- und Hochtemperaturbereich und der Luft- und Raumfahrt berechnet werden. Zusätzlich können bei dieser Programmversion Getriebeparameter individuell definiert werden.

Da zum Getriebe auch ein passender Motor benötigt wird, kann der Nutzer nach der Auswahl des gewünschten Getriebes den gewünschten Motorhersteller (Bild 5) ergänzen. Danach berechnet und listet das Programm alle passenden Motoren dieses Herstellers. Für den in der Liste an erster Stelle stehenden Motor wird die Motor-kennlinie und der Betriebspunkt „Maximales Drehmoment über Drehzahl“ dargestellt (Bild 6). Die gemäß Motorkennlinie maximal zulässigen Grenzwerte werden automatisch geprüft. In einem Fenster werden alle relevanten Berechnungsergebnisse dargestellt. Eine Programmeigenschaft besteht zudem darin, dass der Benutzer aus der Liste passender Motoren einen Motor auswählen oder einen Motor selbst definieren kann. Damit ist sichergestellt, dass man das Programm auch dann nutzen kann, wenn der zu berechnende Motor (noch) nicht in der Datenbank vorliegt. Die Motordatenbank wird ebenso wie die Produktdatenbank ständig erweitert und aktualisiert.

Das Programm gibt darüber hinaus einen Überblick über die berechnete Getriebele-



6: Angabe der Nennwerte für den „optimalsten“ Motor

Hinweise ▲ nach oben

Bei der Berechnung der Zykluszeit wird der Einfluss des Reglers nicht berücksichtigt. Nach den am weitesten Erfahrungen kann sich die Verzögerungszeit t_d in der Phase je nach Reglereinstellung, Dynamik des Zyklus, Getriebe- und Motorgröße typischerweise um ca. 10 bis 50 % erhöhen.

Mittlere Getriebelebensdauer L50: Resonanzfrequenz:
 Getriebelebensdauer L10: Einschaltkoeffizient (ED):
 Betriebsart:

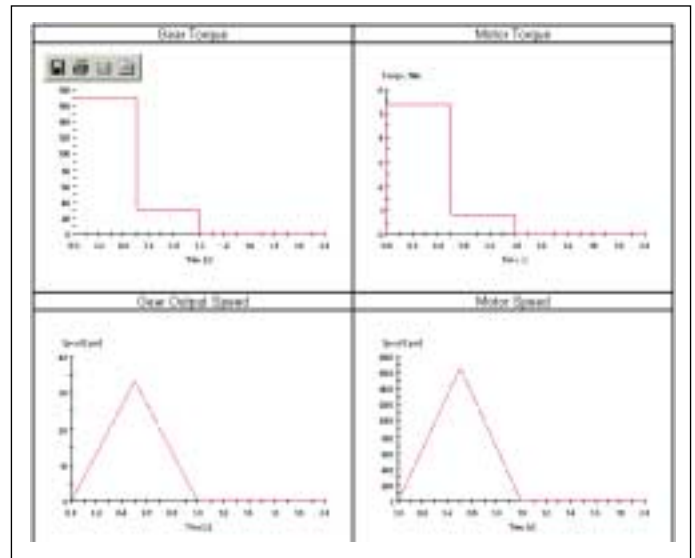
Vergleichswerte

| Getriebe | Berechnete Werte | Max. zulässige Werte |
|---------------------------------|--|--|
| T1 Getriebe | <input type="text" value="183.8 [Nm]"/> | <input type="text" value="± 482 [Nm]"/> |
| T2 Getriebe | <input type="text" value="183.8 [Nm]"/> | <input type="text" value="± 482 [Nm]"/> |
| T3 Getriebe | <input type="text" value="38.2 [Nm]"/> | <input type="text" value="± 482 [Nm]"/> |
| Durchschnittl. Abtriebsdrehmom. | <input type="text" value="135.0 [Nm]"/> | <input type="text" value="± 185.0 [Nm]"/> |
| Durchschnittl. Abtriebsdrehzahl | <input type="text" value="458.7 [1/min]"/> | <input type="text" value="± 800 [1/min]"/> |

| Motor | Berechnete Werte | Max. zulässige Werte |
|---------------------------------|---|---|
| T1 Motor | <input type="text" value="5.33 [Nm]"/> | <input type="text" value="± 13.80 [Nm]"/> |
| T2 Motor | <input type="text" value="5.33 [Nm]"/> | <input type="text" value="± 13.80 [Nm]"/> |
| T3 Motor | <input type="text" value="0.89 [Nm]"/> | <input type="text" value="± 13.80 [Nm]"/> |
| Max. zulässige Beschleunigung * | <input type="text" value="245.1 [rad/s²]"/> | <input type="text" value="± 343.1 [rad/s²]"/> |

7: Angabe der Lebensdauer

bensdauer (Bild 7). Es werden dabei die Lebensdauern L10 und L50 angezeigt. Außerdem werden einige Vergleichswerte des berechneten Getriebes und Motors angegeben. Je nach Programmversion und berechnetem Ergebnis werden gegebenenfalls weitere Hinweise zur Verfügung gestellt. Die Darstellung der wichtigsten Kurven erfolgt in Form von Diagrammen



8: Darstellung der wichtigsten Kurven

(Bild 8). Nach Fertigstellung der Berechnung kann man alle Eingaben und Ergebnisse für die eigene Dokumentation ausdrucken. Damit die Berechnung auch nach Beenden des Programms verfügbar bleibt, ist es möglich, die berechneten Ergebnisse in einer eigenen Datenbank, die sich der Programmnutzer auf Wunsch per Passwort selbst einrichten kann, zu speichern.

Anmerkung der Redaktion

Weitere Informationen über die Getriebe und Servoantriebe des Unternehmens erhalten unsere Leser mittels der folgenden Kennzahl.