

Linearmotoren reduzieren Nebenzeiten bei Montagelinien

Produktivitätsschub für flexible Montagelinien

Für die effiziente und flexible Montage industrieller Güter in hohen Stückzahlen fokussieren sich die Herausforderungen auf sehr hohe Dynamik bei gleichzeitig höchster Positioniergenauigkeit, Varianten-, Positionier-, Richtungsflexibilität und auf möglichst geringe Gesamt-Investitionskosten.

In den Anfängen der automatisierten Fertigung fand der Materialfluss zwischen starr verketteten, längs angeordneten Funktionseinheiten statt. Die Arbeitsschritte wurden streng sequenziell ausgeführt und das Montagegut direkt, d. h. ohne Werkstückträger zwischen den Funktionseinheiten transportiert. Mit der Forderung nach steigender Effizienz wurden die Transportstrecken optimiert und die Funktionseinheiten zu einem Längstransferautomaten weiterentwickelt. Die starre Verkettung der Funktionseinheiten blieb jedoch bestehen. Seit den 90er-Jahren rückt das Thema Flächeneffizienz von Fertigungs-einrichtungen jedoch stärker in den

Fokus. Dies führte zum verstärkten Einsatz von Rundtaktautomaten. Diese optimalen Transportstrecken von Fertigungseinrichtungen ermöglichen ausserdem sehr kurze Takte. Die Funktionseinheiten sind dabei so gestaltet, dass sie flexibel ausgetauscht und ersetzt werden können. Die Auslegung auf ein Produktspektrum mit stark unterschiedlichem Grössen- und Variantenspektrum ist allerdings nicht möglich. Der wesentliche Nachteil von Rundtaktautomaten ist die begrenzte Anzahl von Funktionseinheiten. Die Funktionseinheiten müssen auf einen gemeinsamen Takt abgestimmt werden (starre Verkettung).

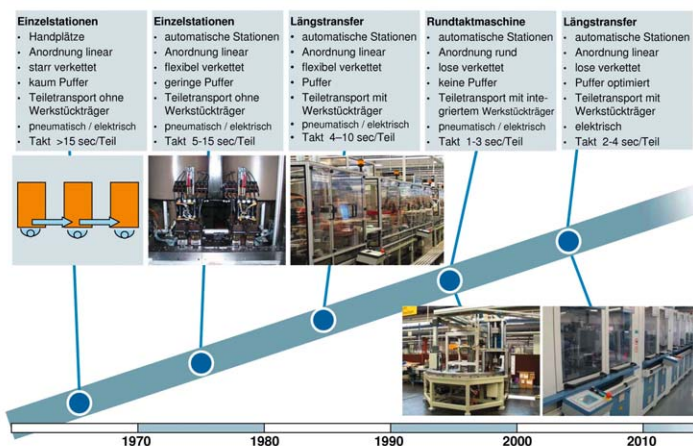
Wichtige Kriterien

Alle bisher genannten Fertigungseinrichtungen sind darüber hinaus wenig flexibel, was Prozessänderungen, wie z. B. die Einführung einer zusätzlichen Funktionseinheit, angeht. Ausserdem ist die Verfügbarkeit der gesamten Anlage aufgrund fehlender Redundanzen und Puffer kritisch.

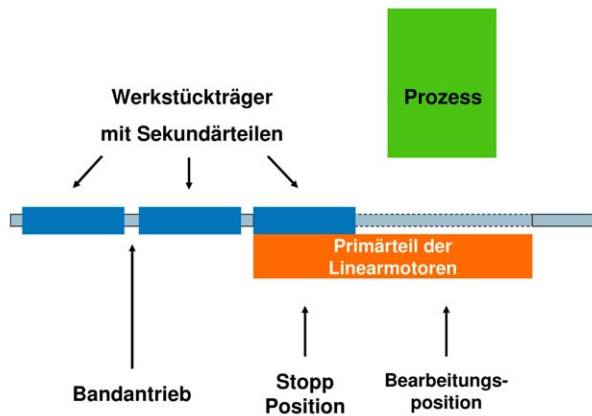
Die künftigen Konzepte werden zunehmend am Produktionsflächenbedarf gemessen. Durch An- und Auslaufkonzepte kann die erforderliche Produktionsfläche auf die Marktsituation und die vorhandenen Hallenkapazitäten angepasst werden. Der erforderliche Kapitaleinsatz wird somit effektiv am Produktbedarf orientiert, d. h. ein Ausbau in mehreren Stufen ist steuerbar. Diese Lösungsmöglichkeit ist bei kritischen Terminalsituationen für die Produktionsplanung ein wichtiges Kriterium für die Konzeptauswahl. Varianten- und Losgrössenflexibilität als Optimierungskriterium für Fertigungseinrichtungen werden zunehmend wichtiger und darum neue Montagelinien häufiger modular aufgebaut. Das Montagegut fliesst dabei auf Werkstückträgern, die z. B. auf einem Bandantriebssystem zwischen den Funktionseinheiten bewegt werden. Redundant aufgebaut, ermöglichen die Funktionseinheiten eine Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit sowie die Produktion mehrerer Aufträge auf einer Anlage (sortenflexibel).

Insgesamt ergeben sich folgende Vorteile für die flexible Montagelinie mit Werkstückträgern:

- Flexibler Standard für Montage- und Prüfmodule: im Anlagen-Lifecycle mass- und funktionsunabhängig nachrüstbar, und damit hochlauf- und rückbauflexibel be-



Evolution einer Fertigungseinrichtung.



Prinzip des Schnellpositioniersystems.

zogen auf Modulebene und Funktionsebene (staffelbare Flächen- und Investitionskosten)

- Wiederinbetriebnahme mit reduzierter Produktionsunterbrechung durch externe Inbetriebnahmemöglichkeit
- Rüstzeiten reduzieren sich auf Konturänderungen, Massänderungen werden durch Software geändert (neutrale Transportschnittstelle)
- Masstoleranzen werden durch Offset-Korrekturmöglichkeit eliminiert.
- Pufferung/Bypass: Redundanter bzw. reduzierter Betrieb ist durch lose Verkettung möglich. Dadurch sind höhere Verfügbarkeit und die Vermeidung eines Anlagenstillstands gegeben. Durch die Entkopplung der Einzelverfügbarkeiten wird eine Multiplikation der starren Verfügbarkeiten vermieden.
- Flexible Prozess- und Nacharbeitsschritte möglich (beliebiger Fahrplan)

In Bezug auf die Flächenproduktivität und die Gesamtinvestition bleibt die Rundtaktmaschine (starr verkettet und getaktet) jedoch nach wie vor ein starker Konkurrent gegenüber einer flexiblen Montagelinie (lose verkettet und taktvariabel). Aus diesem Grund ist es auch besonders wichtig, die Effizienz der flexiblen Montagelinien mit neuen Massnahmen weiterzusteigern.

In diesem Artikel wird hierzu ein Schnellpositioniersystem auf Linearmotor-Basis vorgestellt.

Schnellpositioniersystem mit Linearmotoren

Da es sich bei dem Schnellpositionierer um ein neues System handelt, ist die Liste der hier vorgestellten Anwendungen noch unvollständig. Hinter den im Folgenden dargestellten Anwendungen stehen jedoch meist schon konkrete Kundenprojekte.

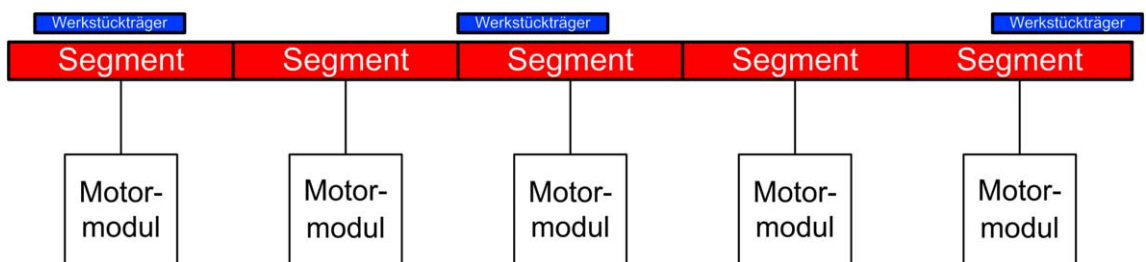
Systemübersicht: Im Bereich der Funktionseinheiten wird parallel zum Bandantriebssystem ein Linearmotor montiert. In diesem kritischen Bereich wird der Werkstückträger also von einem Linearmotor und nicht vom Bandantrieb bewegt. Der Linearmotor wird dabei als sogenannter Langstator betrieben, d. h. der Stator (=Primärteil) ist länger als der Läufer (=Sekundärteil) (siehe [1]). Die Sekundärteile sind in dem Werkstückträger integriert. Um mehrere Werkstückträger getrennt voneinander regeln zu können, ist das Primärteil in mehrere Segmente unterteilt, die getrennt voneinander bestromt werden. Ein bekanntes Beispiel dieser Betriebsart von Linearmotoren ist der Transrapid aus der Verkehrstechnik. Prinzipiell sind beliebig viele Segmente denkbar. Wichtig dabei ist, dass jedes Segment von einem eigenen Motor modul bestromt wird, damit die Werkstückträger in den verschiedenen Segmenten unabhängig voneinander geregelt werden können. Der Linearmotor kann dabei platzsparend in ein herkömmliches Bandantriebssystem integriert werden.

Wichtig dabei ist, dass jedes Segment von einem eigenen Motor modul bestromt wird, damit die Werkstückträger in den verschiedenen Segmenten unabhängig voneinander geregelt werden können. Der Linearmotor kann dabei platzsparend in ein herkömmliches Bandantriebssystem integriert werden.

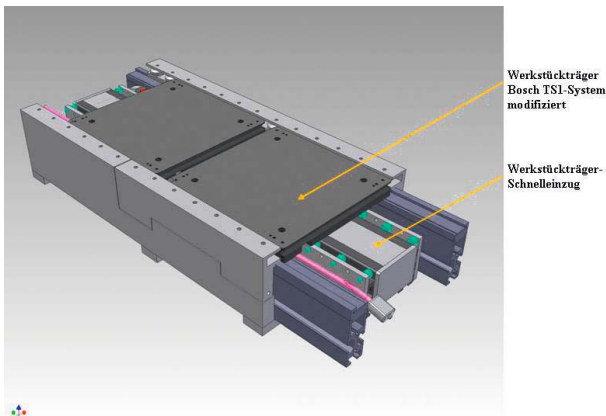
Dadurch ist es möglich, bei Bedarf bestehende Anlagen mit dem Schnellpositioniersystem nachzurüsten, was besonders bei Funktionseinheiten mit sehr kurzem Takt eine spürbare Produktivitätssteigerung zur Folge hat. Ein selektiver Einsatz von Schnellpositioniersystemen an einzelnen Funktionseinheiten ist ebenfalls möglich.

Als integraler Bestandteil der mechanischen Komponente «Schnellpositioniersystem» ist die Lagerung der Werkstückträger so beschaffen, dass das Bandtransportsystem nicht ein- und ausgefädelt werden muss, sondern frei flutend von einem Führungssystem lediglich auf Abstand gehalten wird. Dadurch wird die enorme Anzugskraft zwischen Primär- und Sekundärteil beherrscht. Der Werkstückträger eines Standard-Transportsystems wird um ein Sekundärteil für den Linearmotor ergänzt.

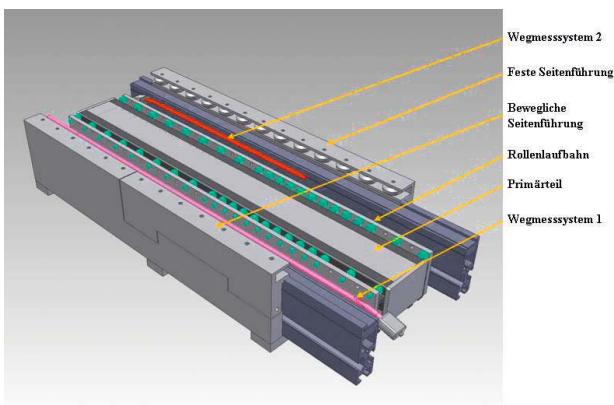
Als besonders vorteilhaft hat sich ein neues Motorprinzip für synchrone Linearmotoren erwiesen, bei dem sich die Permanentmagneten für die Erregung nicht wie üblich im Sekundärteil sondern im Primärteil befinden. Dadurch lassen sich die Werkstückträger magnetlos fertigen, was neben dem Kostenvorteil weitere Vorteile wie:



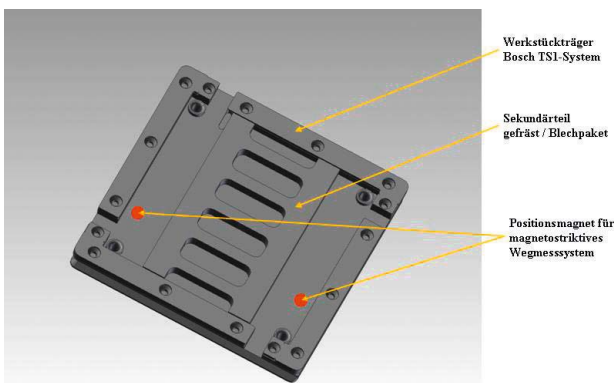
Prinzip eines segmentierten Langstator-Linear motors.



Koppelung des Schnellpositioniersystems mit dem Bandtransportsystem.



Offenes Lager-Abstandhaltesystem der Werkstückträger im Schnellpositioniersystem.



Modifizierter Werkstückträger.

Verschmutzungsunempfindlichkeit, Robustheit, Arbeitssicherheit und Alterungsbeständigkeit der Gesamtanlage mit sich bringt. Der Linearmotor 1FN6 ermöglicht magnetlose Sekundärteile, indem sich die für die Erregung zuständi-

gen Permanentmagneten jeweils in der Mitte einer Polspule befinden. Die Nord-Süd-Ausrichtung wechselt dabei von einer Polspule zur nächsten. Als Sekundärteil ist im einfachsten Fall ein gezahntes Eisenprofil möglich. Bei höheren Geschwindigkeiten erweist sich eine Blechung als vorteilhaft, um die Wirbelstromverluste zu reduzieren. Für den Transport von Werkstückträgern bis 120 m/min reicht jedoch im Allgemeinen ein Vollprofil aus. Je nach Verschaltung der Polspulen lässt sich eine Segmentierung sehr einfach durchführen.

Verkürzung der Nebenzeiten

Ein Merkmal der flexiblen Montagelinien mit Werkstückträgern ist, dass nach Beendigung eines Prozessschrittes der nächste Werkstückträger möglichst schnell in die Bearbeitungsstation nachgefördert werden muss. Dies geschieht bei Bandtransport-Systemen mit einer vergleichsweise niedrigen und konstanten Geschwindigkeit kleiner 20 m/min. Das führt zu wesentlichen unproduktiven Nebenzeiten.

Mit der Parallelschaltung eines hochdynamischen Linearmotors zum Bandantriebssystem (siehe Abbildung 3) können die Nebenzeiten erheblich verkürzt werden.

Im konkreten Fall reichen zwei Segmente aus, um einen neuen Werkstückträger in die Stopp-Position zu fahren, während ein anderes in der Bearbeitungsposition gehalten wird. Der Wechsel von Werkstückträgern von der Stopp-Position in die Bearbeitungsposition kann somit in deutlich kürzerer Zeit erfolgen. Bei 160 mm langen Werkstückträgern ist eine Wechselzeit deutlich kleiner als 0,5 sec möglich. Der Flaschenhals der Transporteinrichtung ist somit eliminiert. Die Ausbringung der Gesamtanlage hängt nun im Wesentlichen von den Taktzeiten der Prozesse ab.

Bei sehr kleinen Montagegütern kann die Produktivität auch dadurch gesteigert werden, indem mehrere Nester auf einem Werkstückträger angeordnet werden und nacheinander angefahren werden.

Hohe Wiederholgenauigkeit mit einfachen Werkstückträgern

Ein weiterer wesentlicher Vorteil des Schnellpositionierers ist, dass die hohen Genauigkeitsanforderungen an die Werkstückträger, die bei konventionellen Hubeinrichtungen notwendig sind, entfallen. Stattdessen wird in der Stopp-Position eine Unikatsnummer des Werkstückträgers gelesen und anschließend ein dazu hinterlegter Positionsoffset für die Bearbeitungsposition berücksichtigt. Pro Werkstückträger können so oftmals Fertigungskosten von mehreren hundert Euro gespart werden. Die Zusatzkosten für die Linearmotoren können dadurch meistens kompensiert werden.

Richtungsflexibilität

Weiteres Potenzial für Effizienzsteigerungen besteht in der Null-Fehler-Produktion (siehe [3]). Wenn in einem nachfolgenden Segment durch ein Vision-System z. B. festgestellt wird, dass ein Verbindungselement nicht eingelegt wurde, kann mit dem Schnellpositioniersystem auch zurückgefahren werden, um dies nachzuholen. Anstatt das Teil am Ende der Prozesskette auszusortieren, wird bei jedem Prozessschritt auf Fehlerfreiheit geprüft.

Positionierflexibilität

Das Einbringen von Material mit z. B. Scara-Robotern (Selective Compliance Assembly Robot Arm) muss nun nicht zwangsläufig im Stillstand erfolgen. Stattdessen kann der Bewegungsführung des Roboters die Bewegung im Schnellpositionierer als Synchronaktion überlagert werden. Diese Funktionalität ist im Bereich der CNC-Technik als Mitschleppfunktion bereits seit Langem bekannt.

Der Schnellpositionierer kann auch als eine Zusatzachse in y-Richtung wirken – z. B. bei zweidimensionalen Aufgaben wie Bahnbewegungen auf der Werkstückträger-Ebene. Diese Art von Bewegungen ist z. B. beim Aufbringen von Klebstoff üblich.

Erhöhung der Varianten- und Losgrößenflexibilität

Durch eine von der SPS wählbare Position kann jeder Werkstückträger mit verschiedenen Varianten bestückt und wahlweise zur entsprechenden Funktionseinheit positioniert werden. Dabei können auch verschieden lange Werkstückträger gleichzeitig verwendet werden. Dies kann frei wählbar im Variantenmix bzw. Losgrößenmix eingesteuert werden. Diese Konzeptvariante ermöglicht eine bedarfsgerechte Produktionsanpassung und eine optimierte Flächennutzung bei knappen Ressourcen.

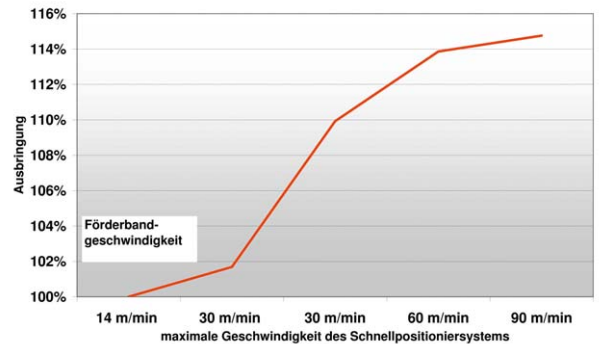
Funktionsweise des Schnellpositionierers mit Linearmotoren

Die Regelung des Schnellpositioniersystems stellt besondere Anforderungen an das Antriebssystem, die funktional über den Grundumfang der Regelung von Linearmotoren hinausgehen. Die wesentliche neue Antriebsfunktionalität ist das Ein- und Ausfahren eines Sekundärteils (Werkstückträger) vom bzw. zum Bandantrieb sowie die Übergabe von einem Primärteilsegment zum nächsten.

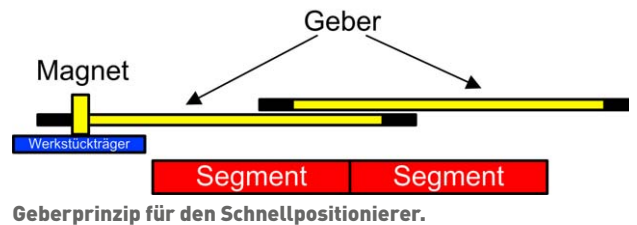
Um hohe Dynamik zu erreichen, wird in jedem Segment ein Gebersignal für die Regelung benötigt. Steuerungsverfahren wie z. B. U/f sind dynamisch nicht ausreichend für diese Anwendung. Da es sich bei dem verwendeten Linearmotor um einen Synchronmotor handelt, muss die Kommutierungslage vor dem Einschalten des Motors bekannt sein. Deshalb muss das Gebersystem länger als das Motorsegment sein. Idealerweise werden Geber verwendet, deren ausgedehntes Teil aktiv ist und fest mit dem Primärteil steht. Das punktförmige Teil ist passiv und fährt auf jedem Werkstückträger mit. Laufzeitbasierte Geber, wie z. B. magnetostruktive Geber sind für diese Aufgabe ideal, da auf dem bewegten Werkstückträger lediglich ein passiver Magnet angebracht werden muss (siehe [1]).

Ein magnetostruktiver Geber besteht aus einem passiven beweglichen Magneten und einem Stab, an dem sich auf einer Seite eine Auswertelektronik befindet. Zunächst wird ein Stromimpuls in den stabförmigen Wellenleiter eingekoppelt, der sich annähernd mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet. Im Bereich des Positionsmagneten findet nun durch Wechselwirkung des Längsfeldes des Magneten mit dem radialen Magnetfeldes, das vom Stromimpuls verursacht wird, eine elastische torsionale Verformung des Wellenleiters statt. Diese Verformung läuft nun als Körper-Ultraschallwelle mit ca. 2800 m/s zu den Wellenleiterenden zurück. Dort wird sie vollständig in den Dämpferzonen absorbiert. Mit Hilfe eines Torsionswandlers wird die aus dem Stromimpuls resultierende Körper-Ultraschallwelle detektiert. Aus der Laufzeitmessung kann nun die absolute Position des Positionsmagneten errechnet werden. Die Übertragung der Positionsinformation zur Antriebsregelung erfolgt dann seriell, z. B. nach dem bekannten SSI-Protokoll.

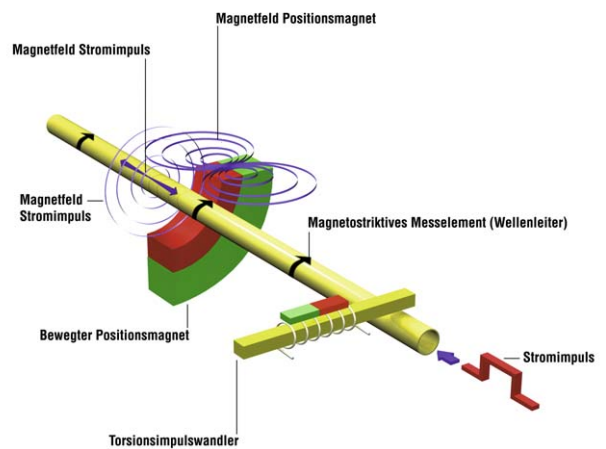
Mit einem magnetostruktiven Geber kann aufgrund seiner prinzipbedingten Totzeit im Vergleich zu einem optischen Geber nur eine geringere Regelndynamik eines Linearmotors nicht erzielt werden. Allerdings ist die erreichbare Dynamik trotzdem noch wesentlich besser als bei geberlosen Regelverfahren. Bei einer typischen Wellenleiterlänge von 0,5 m ist eine Abtastzeit von 250 µs möglich. Die absolute Genauigkeit magnetostruktiver Geber liegt typisch bei ca. 75 µm je Meter Stablänge. Für die Anwendung des Schnellpositionierers ist jedoch die Wiederholgenauigkeit wichtiger, und diese ist besser als 10 µm. Das Messsystem hat sich gegenüber mechanischen und magnetischen Anordnungen als robust erwiesen. Eine Randbedingung dieser Regelungsstrategie ist, dass sich jeweils nur ein Werkstückträger in einem Segment befinden darf, da in einem Segment immer nur ein Freiheitsgrad geregelt werden kann. Die hier beschriebene Funktionalität wurde



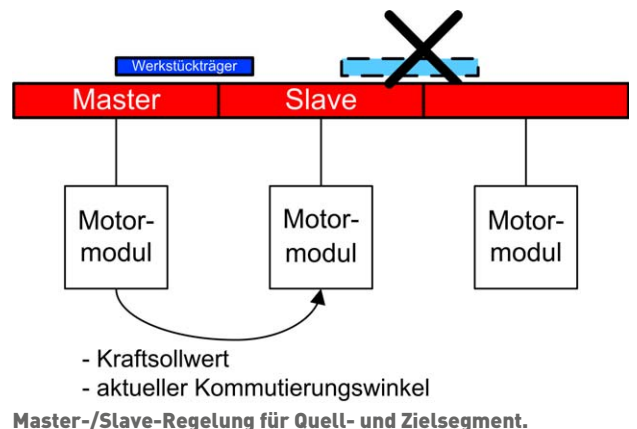
Ausbringung abhängig von der Positioniergeschwindigkeit.



Geberprinzip für den Schnellpositionierer.



Prinzip magnetostruktiver Geber. Quelle: MTS Sensor GmbH



Master-/Slave-Regelung für Quell- und Zielsegment.

für das Antriebssystem Sinamics S120 realisiert.

Im Folgenden werden die wesentlichen Funktionen für den Schnellpositionierer beschrieben.

Einzug vom Bandtransportsystem

Der Werkstückträger wird vom Bandantrieb in das erste Segment eingefahren. Sobald eine kleine Überlappung besteht, wird das Segment eingeschaltet. Durch den magnetischen Absolutgeber ist die Kommutierungslage bereits vor dem Einschalten bekannt.

Idealerweise wird der Linearmotor nun geschwindigkeitsgeregelt mit der Bandgeschwindigkeit als Sollwert betrieben. Bei einer abweichenden Geschwindigkeit besteht die Gefahr, dass der Regler begrenzt, da während des Einzugs die Stellmöglichkeit durch die geringe Überlappung eingeschränkt ist. Weiterhin muss die Kraftkonstante und damit die Verstärkung des Geschwindigkeitsreglers adaptiert werden, da die Kraftkonstante üblicherweise für eine vollständige Überdeckung des Primärteils mit Sekundärteilen definiert ist. Sobald das Sekundärteil grösstenteils in das Primärteilsegment eingetaucht ist, kann mit einer wesentlich höheren Geschwindigkeit gefahren werden. Jetzt kann auch auf Lageregelung umgeschaltet werden. Der Werkstückträger kann nun im Stoppsegment vorrätig gehalten werden, bis das Bearbeitungssegment frei ist.

Segmentübergabe

Anschliessend erfolgt die Übergabe des Werkstückträgers vom Stoppsegment (Quelle) in das Bearbeitungssegment (Ziel). Dafür wird das Zielsegment temporär als Slave an das Quellsegment angekoppelt. D. h. das Zielsegment wird temporär kraftgeregelt betrieben, wobei der Kraftsollwert und Kommutierungswinkel vom Quellsegment übernommen wird.

Wenn die Übergabe abgeschlossen ist, wird im Zielsegment wieder auf Geschwindigkeits- oder Lageregelung zurückgeschaltet. Während das Zielsegment als Slave betrieben

wird, basiert die Regelung ausschliesslich auf dem Geber des Quellsegments. Daher müssen sich die einzelnen Segmentgeber ausreichend überlappen. Vor dem Zurückschalten von Kraft- auf Geschwindigkeitsregelung muss noch der Integrator des PI-Geschwindigkeitsreglers richtig gesetzt werden, um ein Überschwingen zu vermeiden. Während der Übergabe ist zu beachten, dass sich kein weiterer Werkstückträger im Master und Slave befindet, da sich der Motor in diesem Zustand wie ein Summenmotor verhält. Im konkreten Fall erfolgt der Positioniervorgang aus dem Stoppsegment zum Bearbeitungssegment in ca. 0,2 sec (0,21 m Wegstrecke). Die maximale Beschleunigung ist dabei 22 m/sec^2 bis zu einer maximalen Geschwindigkeit von $1,8 \text{ m/sec}$.

Ausfahren zum Bandtransportsystem

Die Funktion «Ausfahren zum Bandantrieb» entspricht im Wesentlichen der des Einzugs vom Bandantrieb. Um das Bearbeitungssegment schneller frei zu bekommen, muss nicht vollständig auf die Bandgeschwindigkeit heruntergebremst werden. Eine zu hohe Geschwindigkeit beim Ausfahren ist jedoch zu vermeiden, da sonst ein entsprechender Pufferbereich vorgesehen werden müsste.

Dynamisch und flexibel zugleich

Das hier vorgestellte Schnellpositioniersystem hilft, Nebenzeiten in den Funktionseinheiten zu reduzieren und damit die Produktivität der Anlage zu steigern.

Die hohe Dynamik des verwendeten Linearmotors ermöglicht ein Gleichziehen mit der Dynamik von Rundtaktmaschinen bei gleichzeitig voller Flexibilität.

Die Wiederholgenauigkeit für das Positionieren von Werkstückträgern ist dabei mindestens im den Faktor 5 besser als bei konventionellen Hubeinrichtungen für Bandantriebssysteme (siehe [4]). Für den Werkstückträger ist hierfür keine besonders hohe Genauigkeit gefordert,

stattdessen wird in jeder Funktionseinheit ein werkstückbezogener Offset für die Feinpositionierung hinterlegt.

Das Schnellpositioniersystem ist dabei kompatibel zu herkömmlichen Bandantrieben und kann somit selektiv in vorhandenen Anlagen nachgerüstet werden.

Besonders bei kleinem Montagegut sind oft kurze Takte in den Funktionseinheiten möglich, weswegen sich eine Optimierung der Nebenzeit auch im Bereich kleiner 1 sec lohnt. Typischerweise handelt es sich dabei um Werkstückträgergrößen zwischen 60 mm bis 240 mm Kantenlänge.

Auch völlig neue Anwendungen, die eine vollwertige Positionierachse voraussetzen, sind mit dem Schnellpositioniersystem möglich.

Literaturangaben:

- (1) Gieras, Jacek F.; Piech, Zbigniew J.: Linear synchronous motors. CRC Press, 2000
- (2) MTS Sensor Technologie GmbH & Co. KG: Magnetostriktion, Physikalische Grundlagen, Temposonics Positionssensoren. Broschüre, 2007
- (3) Sihn, W.: Effiziente Wege zur Null-Fehler-Produktion: Qualität kostenbewusst steigern. Fachkonferenz 15. und 16. März 2004 Bad Homburg, 2004
- (4) Rexroth Bosch Group: Hub-Quer-einheit HQ 1/U, Inbetriebnahmeanleitung, 2002

Infos

Siemens Schweiz AG Industry Sector Industry Automation and Drive Technologies
8047 Zürich
0848 822 844
automation@siemens.ch
www.siemens.ch/automation