

Resonanzen

Resonanzen entstehen hauptsächlich durch die winkelschrittweise Weiterschaltung der Motorwelle in Verbindung mit dem Rastmoment des Motors und durch die Pulsung des Stromreglers der Steuerung.

Resonanzen durch winkelschrittweise Rotorweiterschaltung

Wenn Sie einen zweiphasen Schrittmotor ohne angekoppelte Last auf einen Tisch legen und die Drehzahl von 0Hz ab langsam erhöhen, so hören Sie in der Regel 3 Resonanzstellen. Die erste Resonanzstelle liegt bei ca. 250Hz, die mittlere Resonanzstelle bei ca. 3,4KHz und die obere Resonanzstelle im oberen Drehzahlbereich (7-11KHz) des Motors. Bei kleinen Motordurchmessern sind die Resonanzstellen höher als bei Motoren mit grossen Rotordurchmessern.

Wenn sie das Motorgehäuse z.B. mittels Schraubzwinge seitlich am Motorflansch fest auf die Tischplatte pressen, werden Sie feststellen, dass die Resonanzen leicht in der Frequenz verschoben sind und schwächer wurden. Nun wirkt nur noch das Trägheitsmoment des Rotors, da der Stator von Ihnen festgeschraubt wurde.

Der Schrittmotor besitzt - unbestromt - ein magnetisches Rastmoment. Nun wird der Motor einen Schritt weiter geschaltet und bleibt bestromt. D.h. der Rotor wird kurz beschleunigt und wieder gebremst. Der Rotor besitzt, wie auch der Stator längs zur Motorwelle ein Trägheitsmoment. In bestimmten Motorfrequenzen tritt nun ein schwach gedämpfter Einschwingvorgang bei der Schrittweiterschaltung auf. Die Motor schwingt hin und her bis er zur Ruhe kommt. Kommt nun genau in der Mitte des Zurückschwingens des Rotors die nächste Schrittweiterschaltung (zu diesem Zeitpunkt in Gegenrichtung der aktuellen Rotorbewegung) so muss der Rotor abgebremst um in die nächste Schrittposition hineingezogen zu werden. Diese Gegenbewegung führt dazu, dass der Motor merklich bei dieser Drehzahl an Drehmoment verliert. Im Extremfall kann auch ein Schrittmotor ohne Last hier einfach hängenbleiben.

Diese Resonanzstellen sind in ungeschönten Motorkennlinien sichtbar. Die Grundfrequenz dieser Resonanzstellen ergibt sich anhand:

$$fr = \frac{1}{2 * \pi} * \sqrt{\frac{M * p}{J}}$$

$$fr = \text{Motorresonanz}[\text{Hz}]$$

$$M = \text{Motorhaltemoment}[\text{Ncm}]$$

$$p = \text{Polpaarzahl}$$

$$J = (\text{Rotor})\text{Trägheitsmoment}[\text{kgcm}^2]$$

Die Resonanzfrequenz verschiebt sich z.B. zu kleineren Drehzahlen wenn eine Last starr angekoppelt wird. Somit wird das Trägheitsmoment erhöht und die Resonanzfrequenz sinkt. Schrittmotore mit grossen Luftspalt oder schwächeren Permanent-Magneten sind meist weniger resonanzempfindlich als Motoren mit hoher Leistung bei kleinem Bauvolumen.

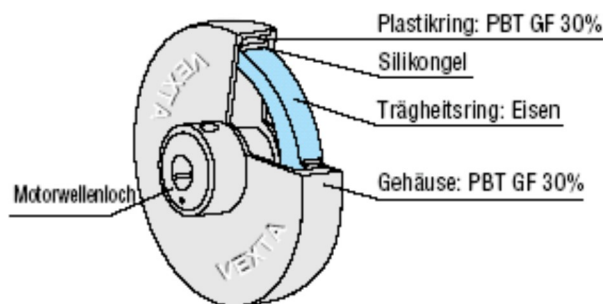
Bei getriebelosen Schrittmotoranwendungen ist eine starre Kopplung zwischen Motorwelle und Last meistens vorteilhaft bezüglich den Drehmomenteinbussen innerhalb der Resonanzen.

Gegenmassnahmen

Die Resonanzerscheinungen sind massgeblich abhängig von mechanischen Reibverlusten, ohmsch Verlusten innerhalb der Wicklung bzw. des Zuleitungskabels sowie Wirbelstromverlusten.

In der Regel wird versucht die oben genannten Verluste klein zu halten, um keine unnötige Erwärmung des Motors oder der Endstufe zu bekommen. Zur Resonanzdämpfung wirken sich obige Verluste positiv aus.

Die einfachste Gegenmassnahme besteht darin die Resonanzdrehzahlbereiche durch eine geeignete Untersetzung zu vermeiden. Bei einem schnellen durchfahren der Resonanzstellen treten diese kaum in Erscheinung, da die Resonanzen meist nicht schlagartig auftreten. Ist ein 2tes Wellenende am Motor vorhanden, so kann auch eine zusätzliche Masse oder ein Schwingungsdämpfer angebracht werden.



Schwingungsdämpfer, Bild Oriental Motor

Obiger Schwingungsdämpfer besteht aus einem Eisenring, welcher in Silikongel gelagert ist.

Wenig sinnvoll ist, den Wicklungswiderstand durch externe Widerstände künstlich zu erhöhen. Diese Massnahme verschiebt zum einen die Resonanzfrequenzen und mindert diese. Hierdurch wird jedoch der Stromregler der Ansteuerung mehr gefordert. In der Praxis hat sich diese Massnahme bisher nicht bewährt.

Resonanzen durch Stromregler der Ansteuerung bedingt

Der Stromregler bildet mit dem RL-Wicklungskreis einen geschlossenen Regelkreis. Bei hohen Drehzahlen ist es dem Stromregler, wegen der vom Motor erzeugten Gegen-EMK, nicht mehr möglich (aufgrund fehlender Spannungsreserve) den gewünschten Strom in den Motor einzuprägen. Daher erreicht man mit einer 130V Endstufe höhere Motorenddrehzahlen als mit einer 12V betriebenen Schrittmotorendstufe.

Stromregler, die beim Spitzenwert des gemessenen Motorstromes abschalten, werden als Spitzenwertregler bezeichnet. Andere messen den Strommittelwert. Diese werden als Mittelwertregler genannt. Da die Stromregler, gerade bei kleinen RL-Zeitkonstanten (Motoren mit höheren Motorströmen) schnell reagieren müssen, um ein Strom-Überschwingen zu vermeiden, haben diesbezüglich Spitzenwertregler Geschwindigkeitsvorteile. Die Regler weisen einen hohen P-Anteil auf, der I-Anteil ist, wenn vorhanden, gering.

Der Stromaufbau mithilfe des Stromreglers erfolgt sehr schnell, der Stromabbau hingegen über den Freilaufkreis der Endstufe relativ langsam.

Schwebung zwischen Chopperfrequenz des Stromreglers und (Puls)-Motorfrequenz

Da ein Stromregler mit vernünftigem Wirkungsgrad stets getaktet wird (kein Längsregler) verhalten sich Motorschrittfrequenz und Taktfrequenz asynchron zueinander. Der Frequenzunterschied beider Frequenzen, die Differenzfrequenz tritt bei bestimmten Motorfrequenzen als Schwebung auf. Diese Schwebung ist auch im Motordrehmoment feststellbar.

Abhilfe schafft das Synchronisieren der Chopperfrequenz des Stromreglers mit einem ganzzahligen vielfachen auf die Motorfrequenz. Dies ist über den ganzen Motordrehzahlbereich technisch aufwendig und somit teuer.

Mechanische Unwucht

Ungenauigkeiten im Rotor eines Motors oder zyklische Unwucht einer angekoppelten Last führen zu zyklischen Änderungen im Drehmomentbedarf des Motors. In der Praxis tauchen mechanische Resonanzerscheinungen nur im niederen Drehzahlbereich (bis 1Khz) auf. Weitere Ursachen liegen in losen und nicht zentrisch ausgeführten Wellenverbindungen.

Schwebung der Betriebsspannung und der Pulsfrequenz bei hohen Drehzahlen

Bei sehr hohen Motordrehzahlen, liegt die Betriebsspannung, aufgrund der hohen gegen-EMK des Motors im Prinzip direkt an der Motorwicklung. Der Stromregler ist am oberen Anschlag. Die Welligkeit der Betriebsspannung bildet bei ungünstiger Motorfrequenz eine Schwebung. Diese ist deutlich im Phasenstrom des Motors zu erkennen, und wirkt sich auch auf das, im oberen Drehzahlbereich meist schwächliche Motordrehmoment aus. Somit treten hierdurch Instabilitäten auf, welchen den Motor kurzzeitig das komplette Drehmoment nehmen. Abhilfe schafft eine Glättung der Betriebsspannung. Diese Glättung (Elektrolytkondensator) ist ebenfalls beim schnellen abbremsen des Antriebes hilfreich.

[Zurück](#) zum 5phasen Schrittmotor oder [weiter](#) zu den SPS Bausteinen für S7-Steuerungen

Infos/Fragen an: Peter@Goetz-Automation.de

[Zurück zur Startseite](#)