



SIEMENS

Ingenuity for life

Siemens Digital Industries Software

Leistungsoptimierung von Pumpen und Kompressoren

Simcenter Amesim als effizientes Mittel
zur Einhaltung regulatorischer und
marktbezogener Anforderungen

Kurzdarstellung

Heutzutage müssen Anbieter von Rotationsmaschinen eine Vielzahl von Kriterien erfüllen, wie z. B. die zunehmenden Vorschriften für Geräusche, Vibration und Rauigkeit (NVH), Emissionen und Sicherheit sowie die Reduzierung des Energieverbrauchs bei gleichbleibender Leistung. In diesem herausfordernden Kontext können Systemsimulationslösungen Kunden dabei unterstützen, Konstruktionsentscheidungen so früh wie möglich im Entwicklungsprozess richtig zu bewerten.

Folglich werden neue Technologien durch den Einsatz zuverlässiger virtueller Modelle entworfen und verglichen, die den gesamten Entwurfsbereich erkunden, um sowohl Vorschriften als auch Kundenerwartungen zu erfüllen. Vielfältige und manchmal widersprüchliche Attribute von Pumpen und Kompressoren müssen in technischen Lösungen umgesetzt werden, die reduzierte Druck- und Drehmomentschwankungen sowie eine schnelle und präzise Durchflussregelung ermöglichen. Zudem müssen die Wechselwirkungen zwischen den Pumpen/Kompressoren und den nachgeschalteten Komponenten und Systemen verstanden werden.

Zusammenfassung

Optimize multiple (and sometimes conflicting) attributes to comply with standards and customer expectations

Assess the impact of new component technologies on systems and machines

Fast and precise flow control	Smart displacement controls	Performance Reliability	Energy consumption & emissions
Leakage reduction	Reduced pressure oscillations	Energy consumption & emissions Performance	NVH Safety & reliability
Electric pumps / compressors	Interactions between supply units and system	Emissions	NVH Safety & reliability

Um Zulieferer von Fluidikkomponenten bei der Entwicklung hochwertiger Produkte in einem verkürzten Entwicklungszyklus zu unterstützen und gleichzeitig die Kosten einzudämmen, bietet die Software Simcenter™ Amesim™ als Teil des Xcelerator™-Portfolios, dem umfassenden und integrierten Portfolio von Software und Services von Siemens Digital Industries Software, Multiphysik-Bibliotheken in einer integrierten Umgebung zur Darstellung verschiedener physikalischer Domänen, einschließlich Mechanik, Elektrik, Hydraulik und Thermik.

Easy and automatic modeling workflows

From CAD → Automatic Sketch → Quick Analysis

Multiphysics system integration

Graph showing pump power consumption vs. flow rate for different temperatures.

Simcenter Amesim System simulation

3D model of a pump assembly with simulation results.

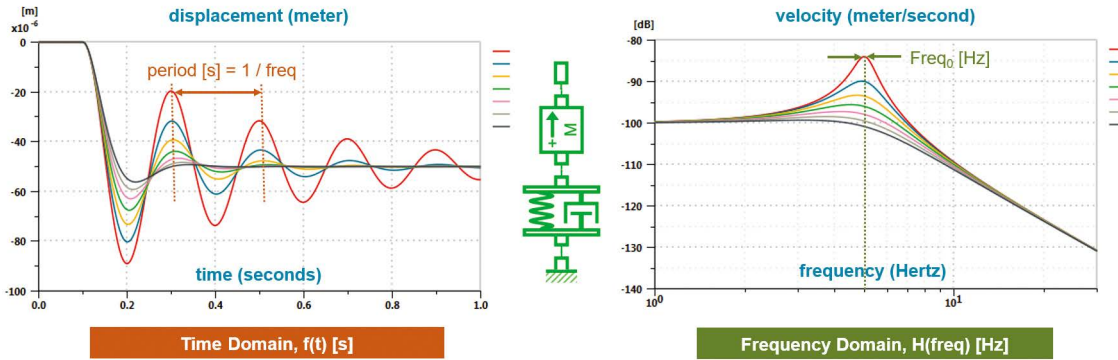
Coupling with Optimization

Scatter plot showing design space optimization results.

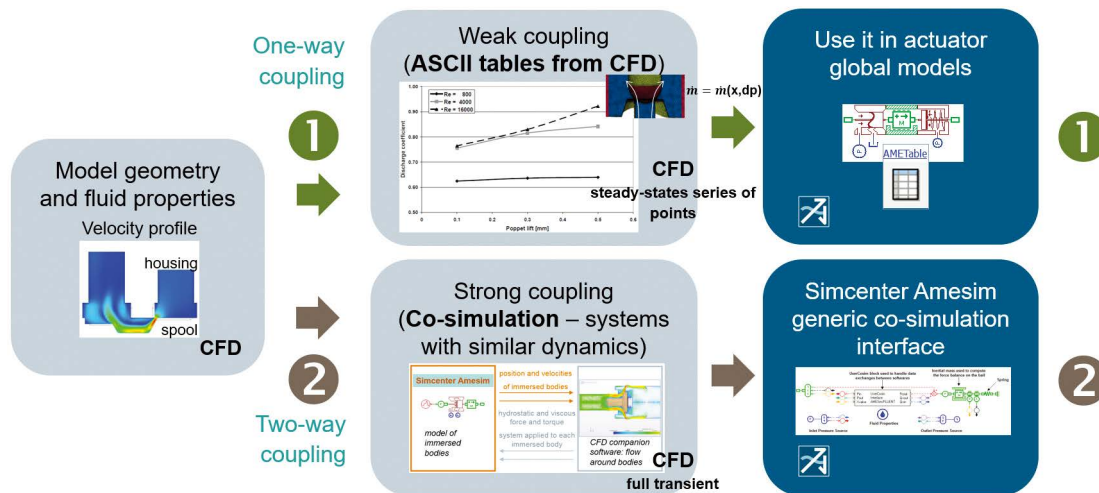
Coupling with CFD

Simulation of fluid flow through a pump component.

Ergänzend zu den Zeitbereichssimulationen ermöglichen die Frequenzbereichstools in Simcenter Amesim die Ermittlung von freien und erzwungenen Antworten, wie z. B. Eigenwerte und Eigenmoden, Wurzelort- und Bode/Nyquist/Nichols-Diagramme zur Untersuchung von Amplituden und Phasen von Übertragungsfunktionen zwischen Eingangsgrößen (z. B. der Pumpenrippelanregung) und Beobachtern (z. B. Druckniveaus innerhalb des Kreises).



Simcenter Amesim ist für alle Simulationsanforderungen in der Produktentwicklung geeignet, von funktionalen bis hin zu detaillierten geometriebasierten Modellen und von quasistatischer bis hin zu völdynamischer Physik. Darüber hinaus ermöglicht die offene Architektur von Simcenter Amesim die Kopplung von Systemsimulationsmodellen mit 3D-Tools für numerische Strömungsmechanik (CFD) zur Analyse von Fluidströmungen auf lokaler Ebene. Als Anwendungen kommen beispielsweise die Bewertung von Druckverlusten in komplexen Rohrleitungen oder Nuten, von Durchflusskoeffizienten in bestimmten Restriktionen oder von Strömungskräften, die auf Sitz-/Schieberventile mit bestimmten Durchfluspassagen und Rezirkulationen wirken, infrage.

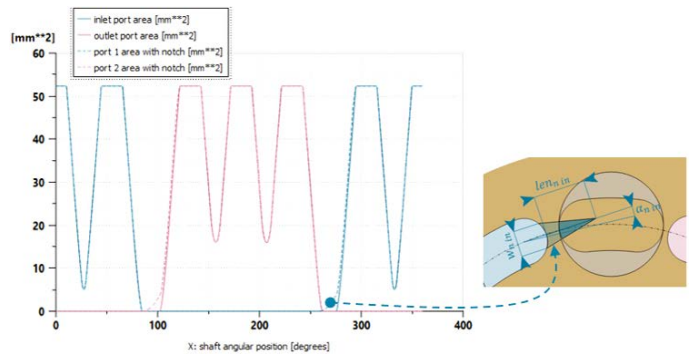


Hydraulik-Modellierung

Für hydraulische Anwendungen bietet Simcenter Amesim drei Bibliotheken an, um die Simulationsanforderungen je nach verfügbaren Eingangsdaten und Dynamiken zu erfüllen:

- Funktionale physikalische Modelle für das allgemeine bzw. vorherrschende Verhalten auf Systemebene für Pumpen, Ventile, Speicher usw., beschrieben durch gebräuchliche Charakteristika, die auf Datenblättern verfügbar sind.
- Hydraulische Widerstände zur Berücksichtigung lokaler Druckverluste aufgrund von Bögen, T-Abzweigungen und anderen plötzlichen Geometrieänderungen in Rohrleitungen. Diese Bibliothek könnte für Hydraulikleitungen am Niederdruckeingang von Pumpen benötigt werden, wo hohe Durchflüsse negative Relativdrücke und starke Belüftung und Kavitation an der Saugseite bewirken können.
- Für komplexe Rohrgeometrien können Ingenieure das Simcenter Amesim-Modell mit Hilfe der CAD-Importfunktionen innerhalb der Simulationsplattform einfach erstellen und parametrisieren.
- Schließlich enthält die Bibliothek für die Komponentenauslegung viele geometriebasierte Modelle zur vollständigen Darstellung von Fließwegen in Hydraulikschiebern und Sitzventilen, Leckagen und Pumpen. Diese Bibliothek eignet sich für die Komponentenauslegung und die Optimierung der Hydraulik.

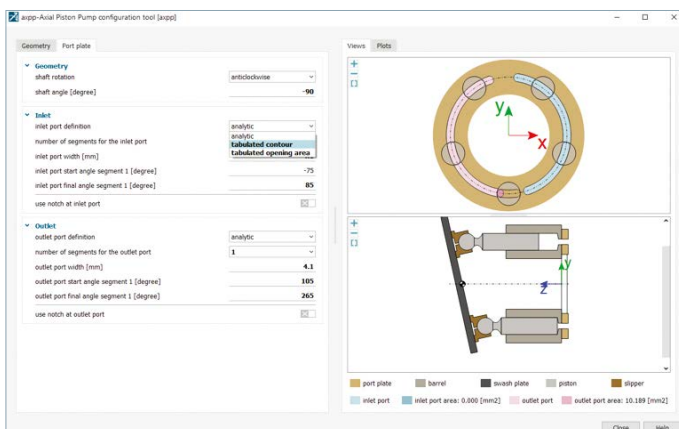
Bei Verdrängerpumpen können voll integrierte Modelle in der Vorentwurfsphase verwendet werden, wenn die CAD-Zeichnung noch nicht verfügbar ist, um verschiedene



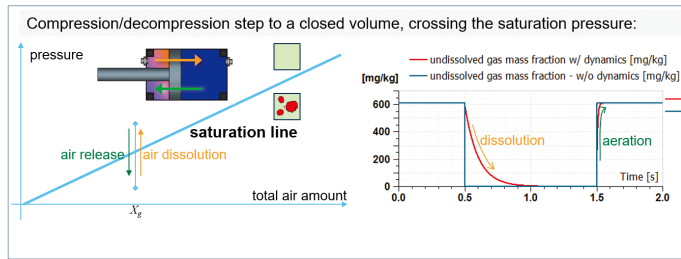
Geometrieentscheidungen mit Unterstützung von Vorverarbeitungs-Apps zu vergleichen, um die Modellparametrisierung zu erleichtern.

Sobald die Pumpenzeichnung zur Verfügung steht, kann der Anwender mit Hilfe der CAD-Importfunktionen die Skizze automatisch generieren und das Pumpenmodell parametrisieren, indem er seine Geometrie direkt abrufen.

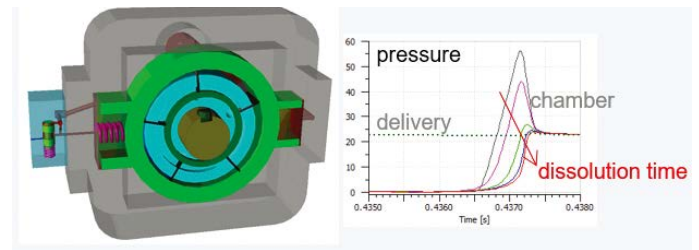
Bei der Berechnung fortschrittlicher Fluideigenschaften müssen immer die thermodynamischen Prinzipien der Massen- und Energieerhaltung beachtet werden, so dass Sie Belüftungs- und Kavitationsphänomene vorhersagen können, die z. B. am Pumpeneinlass bei höheren Winkelgeschwindigkeiten auftreten können.



Bei dem komplexesten Belüftungsmodell, das für die Analyse der vollen Dynamik in Hydraulikpumpen geeignet ist, sind die Gesamtmenge und die ungelöste Luftmenge unabhängige Variablen, die aus den Erhaltungsgesetzen der Massenanteile berechnet werden. Die Entwicklung des ungelösten Gasmassenteils berücksichtigt die Dynamik für Belüftung und Auflösung, indem entweder eine Verzögerung erster Ordnung, die durch benutzerdefinierte Zeitkonstanten charakterisiert ist, oder komplexere Gesetze berücksichtigt werden.¹



Diese Abhandlung² zeigt den Einfluss der Luftauflösungsdynamik auf die Regelung einer Verstellerschmierpumpe mit einstellbarer Druckeinstellung. Diese Dynamik hat einen starken Einfluss auf die momentane Menge der abgeschiedenen Luft, die wiederum den Wert des effektiven Massenmoduls des Luft/Öl-Gemisches und die Druckentwicklungsrate bestimmt.



Pneumatik-Modellierung

Simcenter Amesim bietet Bibliotheken an, um verschiedene Simulationsanforderungen für Pneumatiksysteme je nach verfügbaren Eingangsdaten und darzustellender Dynamik zu erfüllen.

- Für Anwendungen mit einem einzigen Gas kommen die pneumatischen Bibliotheken mit perfekten, halbperfekten und realen Gaseigenschaften zurecht.
- Die Gasgemischlösung ist für mehrere Arten mit zeitlicher Entwicklung der Gasanteile geeignet.
- Für den Fall einer Zweiphasenströmung stehen spezielle Bibliotheken zur Verfügung, um das Phänomen des Flüssigkeits-Phasenwechsels in Verdampfern oder Kondensatoren zu analysieren.

The image displays the Simcenter Amesim software interface. On the left, a 'Library Items' pane shows various pneumatic components categorized under 'Pneumatic Design/All'. The main workspace shows a 'Single-gas' simulation setup for 'methane (CH4)'. On the right, a 'Gas-mixture' and 'Two-phase flow' section shows a schematic of an 'Air compressor system' with components like 'Air tank', 'Electric heater', 'Heater pressure control valve', and 'To manufacturing line'. A 3D model of a compressor is shown at the bottom right.

Anwendungsbeispiele

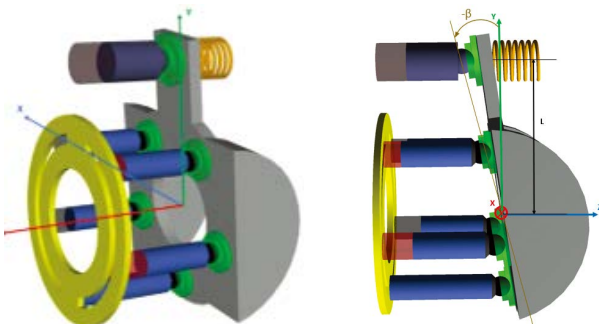
Unter allen möglichen Pumpen- und Kompressortechnologien, die in den verschiedenen Industriesegmente eingesetzt werden, konzentriert sich dieser Abschnitt auf eine Axialkolbenpumpe und einen Hubkolbenkompressor.

Axialkolbenpumpe

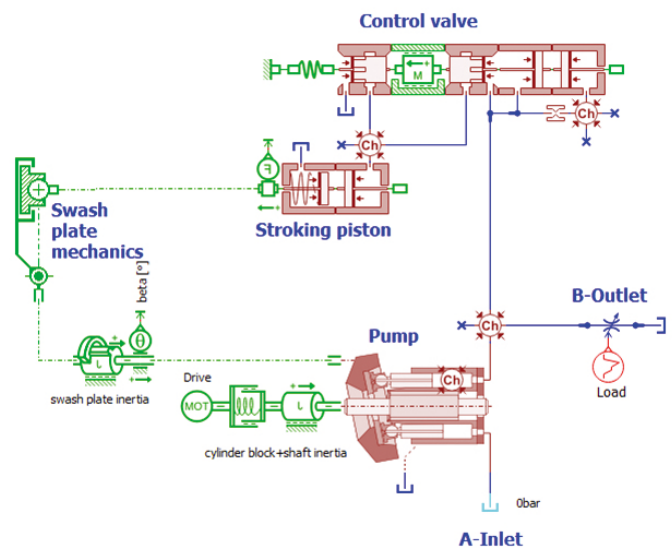
Axialkolbenpumpen sind im gesamten mobilen und industriellen Bereich sowie zum Antrieb von Hydrauliksystemen in Düsenflugzeugen weit verbreitet. Mit dieser Technologie können hohe volumetrische Wirkungsgrade auch bei höchsten hydraulischen Drücken erreicht werden. Außerdem eignen sich Axialkolbenpumpen für feste oder variable Ausführungen.

Das folgende Bild zeigt eine Axialkolben-Verstellpumpe in Schrägscheibenbauweise.

Sobald der Förderdruck der Pumpe einen Maximalwert erreicht, der dem Öffnungsdruck eines Steuerventils entspricht, beginnt die Druckbeaufschlagung des auf die Schrägscheibe wirkenden Hubkolbens, der sich dann von links nach rechts bewegt, so dass sich der Schrägungswinkel β und damit die Pumpenverdrängung und die Fördermenge verringern.



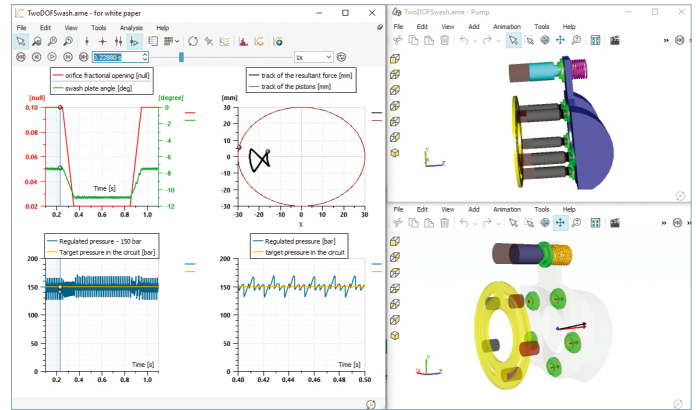
Das Pumpenmodell wurde beim Importieren der CAD-Datei in Simcenter Amesim automatisch generiert und parametrisiert. Zusätzlich wurden das Steuerventil, der Hubkolben und die Schrägscheibenmechanik hinzugefügt, um die Schrägscheibenregelung zu modellieren, die bei Erreichen eines der Federspannung entsprechenden Drucks die Pumpenverdrängung reduziert.



Das Pumpenmodell integriert viele Einflussfaktoren:

- Die Kinematik der Pumpenkolben
- Die Öffnungsbereiche der Anschlussplatte (die Kerben enthalten können)
- Interne Leckagen und viskose Reibungskräfte sowie die stark ansteigende Kompressibilität des Fluids beim Auftreten von Belüftungs- und Kavitationserscheinungen, insbesondere bei hohen Wellendrehzahlen

Das obige Simulationsmodell ermöglicht es dem Anwender, das Pumpendesign zu optimieren, um die Durchfluss- und Drehmomentwelligkeit zu reduzieren, die NVH-Eigenschaften und den Wirkungsgrad zu verbessern und eine stabile Regelung des Hubraums im gesamten Betriebsbereich zu gewährleisten.



Es gibt viele Abhandlungen zum Einsatz von Simcenter Amesim für die Auslegung und Optimierung von Axialkolbenpumpen.^{3, 4, 5, 6, 7}

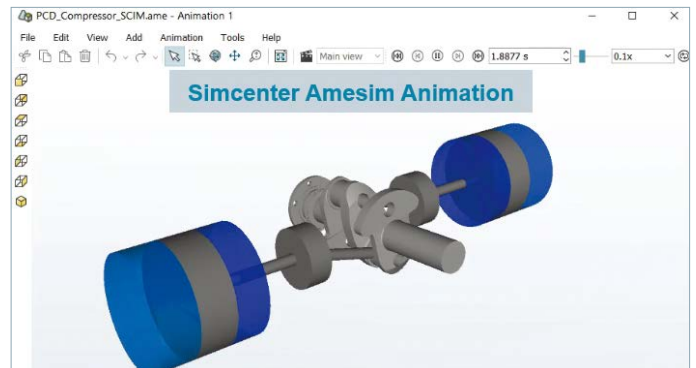
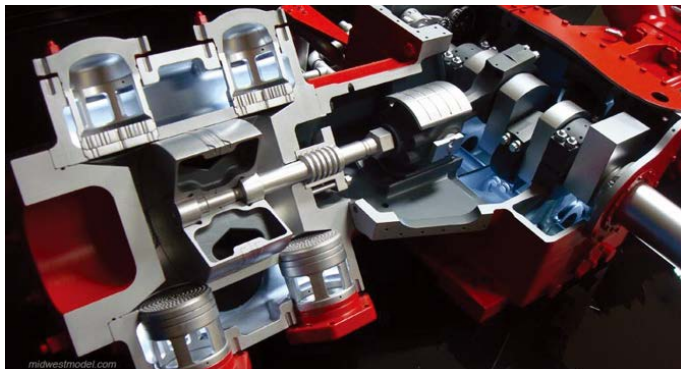
Hubkolbenkompressor

Ein Hubkolbenkompressor ist eine Verdrängermaschine mit Hubkolben, die ein Gas komprimiert und mit hohem Druck fördert. Der Antrieb der Kolben erfolgt über einen Kurbeltrieb.

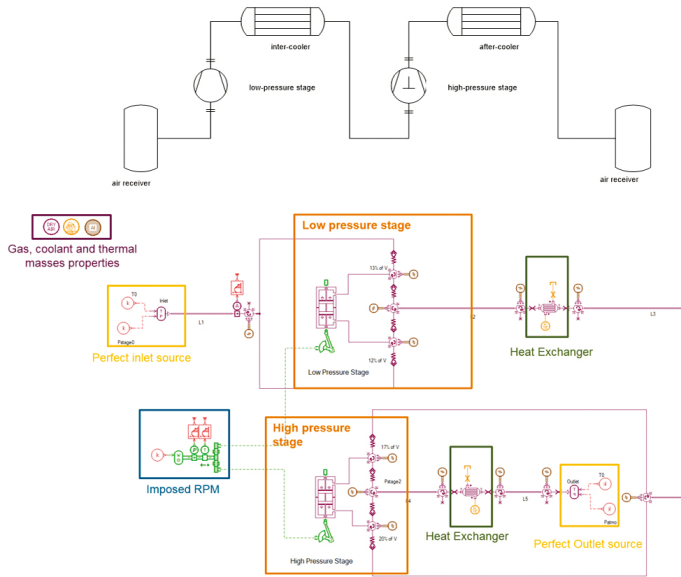
Kompressoren finden sich in fast jeder Industrieanlage zur Erzeugung von Druckluft für verschiedene Bearbeitungswerkzeuge, für Gasspeicher- und -transportsysteme und in der Öl- und Gasindustrie. Sie können eine einfach- oder doppelwirkende Konstruktion aufweisen. Charakteristisch für die doppelwirkende

Konstruktionen ist, dass die Kompression auf beiden Seiten des Kolbens sowohl beim Ausfahren als auch beim Einfahren stattfindet.

Bei hohen Verdichtungsverhältnissen werden mehrere Verdichtungsstufen mit mehreren in Reihe arbeitenden Kompressoren realisiert. Während der Verdichtung steigt die Temperatur schnell an, daher müssen die Wärmetauscher entsprechend dimensioniert werden, um eine Überhitzung zu vermeiden.

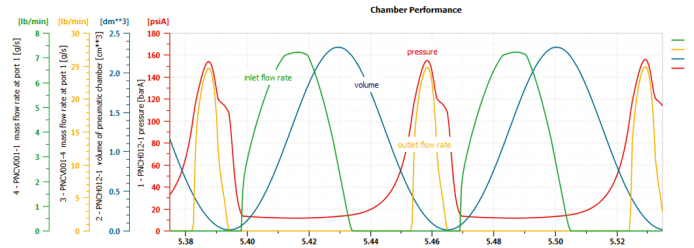


Die aktuelle Simcenter Amesim-Anwendung zeigt einen doppelwirkenden Kompressor mit zwei Stufen und zwei Wärmetauschern (Zwischen- und Nachkühler) zur Temperaturkühlung.

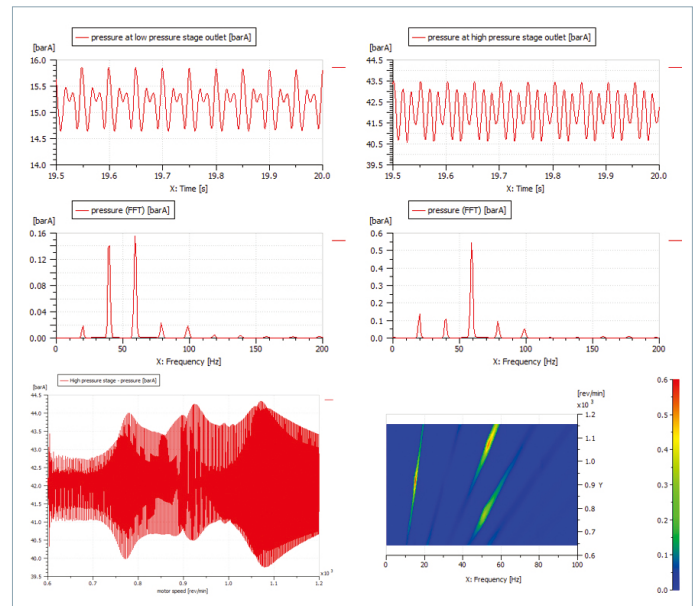


Das obige Simulationsmodell ermöglicht es dem Anwender, die Leistung des Kompressors zu verbessern, indem er den Drehmomentbedarf vorhersagt, die Dynamik der Gasleitung versteht, die Pumpverluste (Reibung, Leckage) reduziert und die Dynamik des Kompressorantriebsstrangs (modale Formen, Frequenzgang) verbessert.

Simcenter Amesim ermöglicht es dem Anwender, die Leistung jeder Kammer in Bezug auf die Volumenvariation, die Einlass- und Auslassdurchflussraten und den Innendruck zu bewerten.



Am Ausgang jeder Kompressionsstufe kann der Anwender das Temperaturniveau, die Druckpulsationen und den Einfluss der Pneumatikleitungen auf die Dämpfung oder Verstärkung dieser Schwingungen überprüfen.

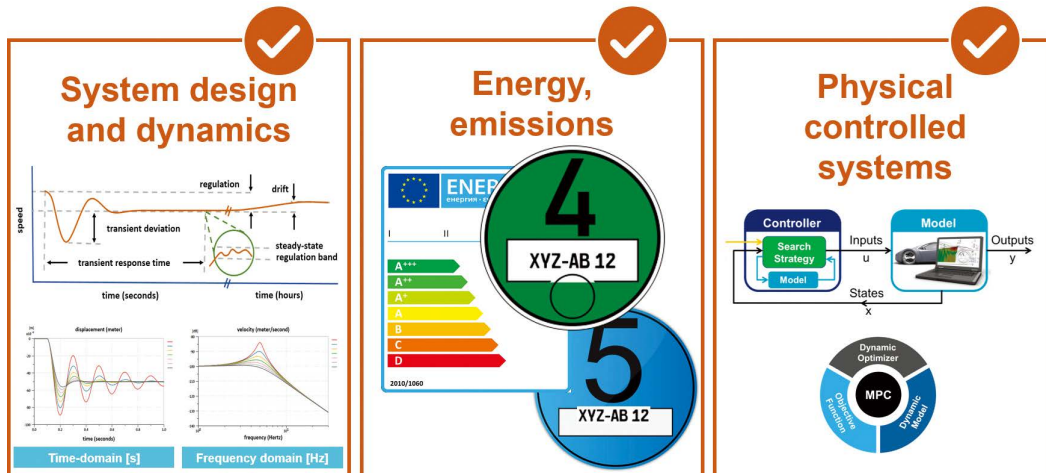


Fazit

Simcenter Amesim unterstützt die Modellierung von Fluidkomponenten, so dass leistungsstarke und intelligente mechatronische Systeme entstehen und dabei die Entwicklungszeit und -kosten unter Kontrolle bleiben.

Die Systemsimulation hilft Ingenieuren bei der richtigen Dimensionierung und Optimierung des dynamischen Verhaltens von hydraulischen Versorgungseinheiten, Ventilen, Wärmetauschern,

Stellantrieben und anderen angeschlossenen Komponenten. Es erleichtert auch die Modifikation bestehender oder neuer Konstruktionen in frühen Phasen, da es Ihnen die Verifizierung des thermischen Verhaltens unter verschiedenen Betriebsbedingungen und Betriebszyklen und die Integration intelligenter Regelungsstrategien von Beginn des Produktdesignzyklus an ermöglicht.



Referenzen

1. J. Zhou, A. Vacca, B. Manhartgruber. "A novel approach for the prediction of dynamic features of air release and absorption in hydraulic oils", *Journal of Fluids Engineering*, ASME, September 2013, Vol. 135.
2. M. Rundo et al. "Modelling of a variable displacement lubricating pump with air dissolution dynamics", *SAE Int. J. Engines* 2018, ISSN 1946-3936.
3. S. Stoll et al. "Simulation of hydraulic drive system using library elements", Bosch Rexroth, Elchingen, Mobile Conference 2006.
4. N. Timo et al. "Active systems for noise reduction and efficiency improvement of axial piston pumps", Bosch Rexroth, Fluid Power Motion and Control Conference 2008.
5. P. Achten et al. "A four-quadrant hydraulic transformer for hybrid vehicles", Innas BV, 11th Scandinavian International Conference on Fluid Power 2009.
6. M. Borghi et al. "Displacement control in variable displacement axial piston swashplate type pumps," 12th Scandinavian International Conference on Fluid Power 2011.
7. M. Rigosi et al. "Optimization of a low noise hydraulic piston pump," Newsletter Enginsoft Year 11 n°4, https://www.enginsoft.com/assets/pdf/specialissue/newsletter_modeFRONTIER.pdf

Siemens Digital Industries Software

Hauptsitz

Granite Park One
5800 Granite Parkway
Suite 600
Plano, TX 75024
USA
+1 972 987 3000

Nord-, Mittel- und Südamerika

Granite Park One
5800 Granite Parkway
Suite 600
Plano, TX 75024
USA
+1 314 264 8499

Europa

Stephenson House
Sir William Siemens Square
Frimley, Camberley
Surrey, GU16 8QD
+44 (0) 1276 413200

Asien-Pazifik

Unit 901-902, 9/F
Tower B, Manulife Financial Centre
223-231 Wai Yip Street, Kwun Tong
Kowloon, Hong Kong
+852 2230 3333

Über Siemens Digital Industries Software

Siemens Digital Industries Software fördert die Transformation von Unternehmen auf ihrem Weg in Richtung „Digital Enterprise“, in dem Engineering, Fertigung und Elektronikdesign bereits heute den Anforderungen der Zukunft entsprechen. Mit Xcelerator, dem umfassenden, integrierten Portfolio aus Software und Services von Siemens Digital Industries Software unterstützen wir Unternehmen jeder Größe bei der Entwicklung digitaler Zwillinge, die ihnen neue Einblicke, Möglichkeiten und Automatisierungsgrade bieten, um Innovationen voranzutreiben. Weitere Informationen über die Produkte und Leistungen von Siemens Digital Industries Software finden Sie unter [siemens.com/software](https://www.siemens.com/software) oder folgen Sie uns über [LinkedIn](#), [Twitter](#), [Facebook](#) und [Instagram](#). Siemens Digital Industries Software – Where today meets tomorrow.

[siemens.com/software](https://www.siemens.com/software)

© 2020 Siemens. Eine Liste wichtiger Warenzeichen von Siemens findet sich [hier](#).
Alle anderen Marken sind Eigentum der jeweiligen Inhaber.

82757-83422-C3-DE 2/21 LOC