



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2011 108 243.7

(51) Int Cl.: F02D 17/00 (2006.01)

(22) Anmelddetag: 21.07.2011

F02D 15/02 (2006.01)

(43) Offenlegungstag: 02.02.2012

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 07.06.2018

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
12/845,164 28.07.2010 US

(72) Erfinder:
Whitney, Christopher E., Commerce, Mich., US;
Baur, Andrew W., Flushing, Mich., US; Spizza,
Alfred E., Jr., Brighton, Mich., US; Li, Zhong, Novi,
Mich., US; Kaiser, Jeffrey M., Highland, Mich., US

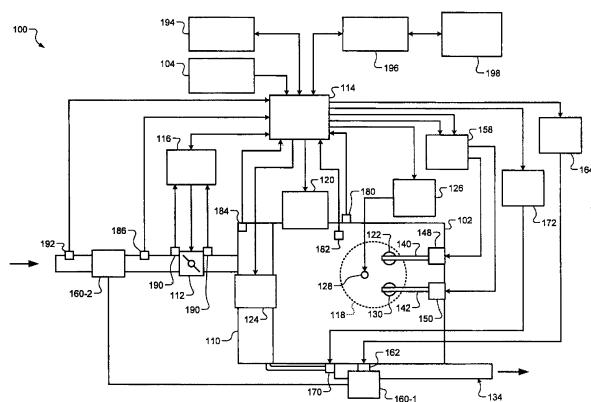
(73) Patentinhaber:
GM Global Technology Operations LLC (n. d. Ges.
d. Staates Delaware), Detroit, Mich., US

(56) Ermittelter Stand der Technik:
DE 10 2005 042 846 A1

(74) Vertreter:
Manitz Finsterwald Patentanwälte PartmbB, 80336
München, DE

(54) Bezeichnung: Motorsteuersystem zur Steuerung eines Modus mit verbesserter Kraftstoffwirtschaftlichkeit

(57) Hauptanspruch: Motorsteuersystem, das umfasst:
ein Modul (302) für einen Soll-Krümmerabsolutdruck (Soll-MAP), das einen Soll-MAP (340) für den Betrieb eines Motors (102) in einem Zylinderdeaktivierungsmodus oder in einem Modus mit niedrigem Hub basierend auf einer Differenz zwischen einem Soll-Unterdruck (342) und einem Luftdruck (344) stromaufwärts eines Drosselventils (112) ermittelt;
ein MAP-Drehmomentmodul (318), das eine Soll-Drehmomentabgabe des Motors (102) für den Betrieb in dem Zylinderdeaktivierungsmodus oder in dem Modus mit niedrigem Hub basierend auf dem Soll-MAP (340) ermittelt;
ein Schwellenwertermittlungsmodul (410), das ein Einstiegsdrehmoment basierend auf der Soll-Drehmomentabgabe ermittelt; und
ein Modul (414) für einen Kraftstoffwirtschaftlichkeitsmodus (FE-Modus), das den Betrieb in dem Zylinderdeaktivierungsmodus oder in dem Modus mit niedrigem Hub basierend auf einem Vergleich des Einstiegsdrehmoments und einer Drehmomentanforderung (263) selektiv auslöst.



Beschreibung**GEBIET**

[0001] Die vorliegende Offenbarung betrifft Motorsteuersysteme zur Steuerung eines Modus mit verbesserter Kraftstoffeffizienz.

HINTERGRUND

[0002] Verbrennungsmotoren verbrennen ein Luft- und Kraftstoffgemisch in Zylindern, um Kolben anzutreiben, was ein Antriebsdrehmoment erzeugt. Eine Luftströmung in den Motor wird mittels einer Drossel geregelt. Spezieller stellt die Drossel eine Drosselfläche ein, was die Luftströmung in den Motor vergrößert oder verkleinert. Wenn die Drosselfläche zunimmt, nimmt die Luftströmung in den Motor zu. Ein Kraftstoffsteuersystem stellt die Rate ein, mit der Kraftstoff eingespritzt wird, um ein Soll-Luft/Kraftstoffgemisch an die Zylinder zu liefern und/oder eine Soll-Drehmomentabgabe zu erreichen. Eine Erhöhung der Menge an Luft und Kraftstoff, die an die Zylinder geliefert werden, vergrößert die Drehmomentabgabe des Motors.

[0003] Bei Motoren mit Funkenzündung löst ein Zündfunken die Verbrennung eines Luft/ Kraftstoffgemischs aus, das an die Zylinder geliefert wird. Bei Motoren mit Kompressionszündung verbrennt die Kompression in den Zylindern das Luft/Kraftstoffgemisch, das an die Zylinder geliefert wird. Der Zündfunkenzeitpunkt und die Luftströmung können die primären Mechanismen zum Einstellen der Drehmomentabgabe der Motoren mit Funkenzündung sein, während die Kraftstoffströmung der primäre Mechanismus zum Einstellen der Drehmomentabgabe der Motoren mit Kompressionszündung sein kann.

[0004] In der DE 10 2005 042 846 A1 sind Systeme und Verfahren zur Steuerung eines Motors beschrieben, bei denen der Motor bei einer Schaltschwelle, die von der Drehzahl und dem Drehmoment des Motors abhängt, zwischen einem Betriebsmodus, in dem alle Zylinder aktiv sind, und einem Betriebsmodus, in dem ein Teil der Zylinder deaktiviert ist, umgeschaltet wird. Die Umschaltung des Motors zwischen den Betriebsmodi wird abhängig von einem Fahrertyp und einer Fahrsituation verzögert bzw. mit einer Hysterese versehen, um zu häufige Umschaltungen zwischen den Betriebsmodi zu vermeiden.

[0005] Motorsteuersysteme wurden entwickelt, um das Motorausgangsdrehmoment zum Erreichen eines Soll-Drehmoment zu steuern. Herkömmliche Motorsteuersysteme steuern das Motorausgangsdrehmoment jedoch nicht so genau wie gewünscht. Ferner liefern herkömmliche Motorsteuersysteme kein schnelles Ansprechen auf Steuersignale oder stimmen die Motordrehmomentsteuerung nicht zwischen verschiedenen Einrichtungen ab, die das Motorausgangsdrehmoment beeinflussen.

[0006] Dieses Problem wird mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

ZUSAMMENFASSUNG

[0007] Ein Motorsteuersystem umfasst ein Modul für einen Soll-Krümmerabsolutdruck (Soll-MAP), ein MAP-Drehmomentmodul, ein Schwellenwertermittlungsmodul und ein Modul für einen Kraftstoffwirtschaftlichkeitsmodus (FE-Modus). Das Soll-MAP-Modul ermittelt einen Soll-MAP für den Betrieb eines Motors in einem Zylinderdeaktivierungsmodus oder in einem Modus mit niedrigem Hub basierend auf einer Differenz zwischen einem Soll-Unterdruck und einem Luftdruck stromaufwärts eines Drosselventils. Das MAP-Drehmomentmodul ermittelt eine Soll-Drehmomentabgabe des Motors für den Betrieb in dem Zylinderdeaktivierungsmodus oder in dem Modus mit niedrigem Hub basierend auf dem Soll-MAP. Das Schwellenwertermittlungsmodul ermittelt ein Einstiegsdrehmoment basierend auf der Soll-Drehmomentabgabe. Das Modul für den FE-Modus löst den Betrieb in dem Zylinderdeaktivierungsmodus oder in dem Modus mit niedrigem Hub basierend auf einem Vergleich des Einstiegsdrehmoments und einer Drehmomentanforderung selektiv aus.

[0008] Ein Motorsteuerverfahren umfasst: dass ein Soll-Krümmerabsolutdruck (Soll-MAP) für den Betrieb eines Motors in einem Zylinderdeaktivierungsmodus oder in einem Modus mit niedrigem Hub basierend auf einer Differenz zwischen einem Soll-Unterdruck und einem Luftdruck stromaufwärts eines Drosselventils ermittelt wird; dass eine Soll-Drehmomentabgabe des Motors für den Betrieb in dem Zylinderdeaktivierungsmodus oder in dem Modus mit niedrigem Hub basierend auf dem Soll-MAP ermittelt wird; dass ein Einstiegsdrehmoment basierend auf der Soll-Drehmomentabgabe ermittelt wird; und dass der Betrieb in dem Zylinderdeaktivierungs-

modus oder in dem Modus mit niedrigem Hub basierend auf einem Vergleich des Einstiegsdrehmoments und einer Drehmomentanforderung selektiv ausgelöst wird.

Figurenliste

[0009] Die vorliegende Offenbarung wird anhand der ausführlichen Beschreibung und der begleitenden Zeichnungen verständlicher werden, wobei:

Fig. 1 ein Funktionsblockdiagramm eines beispielhaften Motorsystems gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung ist;

Fig. 2 ein Funktionsblockdiagramm eines beispielhaften Motorsteuersystems gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung ist;

Fig. 3 ein Funktionsblockdiagramm einer beispielhaften Implementierung eines Maximaldrehmoment-Ermittlungsmoduls gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung ist;

Fig. 4 ein Funktionsblockdiagramm eines beispielhaften Steuermoduls für einen Kraftstoffwirtschaftlichkeitsmodus (FE-Modus) gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung ist;

Fig. 5 ein Funktionsblockdiagramm eines beispielhaften Luftsteuermoduls gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung ist;

Fig. 6 ein Funktionsblockdiagramm eines beispielhaften Korrekturmoduls gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung ist;

Fig. 7 eine beispielhafte Graphik eines Drehmoments über der Zeit gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung ist; und

Fig. 8 ein Flussdiagramm ist, das ein beispielhaftes Verfahren zum Ermitteln eines maximalen Motorausgangsdrehmoments für den Betrieb in einem FE-Modus gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung darstellt.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0010] Wie hierin verwendet, sollte die Formulierung A, B und/oder C derart ausgelegt werden, dass sie ein logisches (A oder B oder C) unter Verwendung eines nicht exklusiven logischen Oders bedeutet. Es versteht sich, dass Schritte innerhalb eines Verfahrens in unterschiedlicher Reihenfolge ausgeführt werden können, ohne die Prinzipien der vorliegenden Offenbarung zu verändern.

[0011] Wie hierin verwendet, bezieht sich der Ausdruck Modul auf einen anwendungsspezifischen integrierten Schaltkreis (ASIC); einen elektronischen Schaltkreis; einen Schaltkreis der Schaltungslogik; ein feldprogrammierbares Gate-Array (FPGA); einen Prozessor (gemeinsam genutzt, fest zugeordnet oder als Gruppe), der einen Code ausführt; andere geeignete Komponenten, welche die beschriebene Funktionalität bereitstellen; oder eine Kombination einiger oder aller der vorstehenden Gegenstände, wie beispielsweise bei einem Ein-Chip-System, ist ein Teil von diesen oder umfasst diese. Der Ausdruck Modul kann einen Speicher umfassen (gemeinsam genutzt, fest zugeordnet oder als Gruppe), der einen Code speichert, der durch den Prozessor ausgeführt wird.

[0012] Der Ausdruck Code, wie er vorstehend verwendet wird, kann eine Software, eine Firmware und/oder einen Mikrocode umfassen, und er kann sich auf Programme, Routinen, Funktionen, Klassen und/oder Objekte beziehen. Der Ausdruck gemeinsam genutzt, wie er vorstehend verwendet wird, bedeutet, dass ein Teil des Codes oder der gesamte Code von mehreren Modulen unter Verwendung eines einzelnen (gemeinsam genutzten) Prozessors ausgeführt werden kann. Zusätzlich kann ein Teil des Codes oder der gesamte Code mehrerer Module durch einen einzelnen (gemeinsam genutzten) Speicher gespeichert werden. Der Ausdruck Gruppe, wie er vorstehend verwendet wird, bedeutet, dass ein Teil des Codes oder der gesamte Code eines einzelnen Moduls unter Verwendung einer Gruppe von Prozessoren ausgeführt werden kann. Zusätzlich kann ein Teil des Codes oder der gesamte Code eines einzelnen Moduls unter Verwendung einer Gruppe von Speichern gespeichert werden.

[0013] Die hierin beschriebenen Vorrichtungen und Verfahren können durch ein oder mehrere Computerprogramme implementiert werden, die durch einen oder mehrere Prozessoren ausgeführt werden. Die Computerprogramme können durch einen Prozessor ausführbare Anweisungen umfassen, die auf einem nicht flüchtigen, zugreifbaren, computerlesbaren Medium gespeichert sind. Die Computerprogramme können auch ge-

speicherte Daten umfassen. Nicht einschränkende Beispiele des nicht flüchtigen, zugreifbaren, computerlesbaren Mediums sind ein nicht flüchtiger Speicher, ein magnetischer Speicher und ein optischer Speicher.

[0014] Ein Motorsteuermodul (ECM) kann einen Motor selektiv in einem oder mehreren Modi mit verbesserter Kraftstoffwirtschaftlichkeit (FE) betreiben. Lediglich beispielhaft kann das ECM einen Motor in einem Zylinderdeaktivierungsmodus und/oder in einem Modus mit niedrigem Hub betreiben. Das ECM kann einen oder mehrere Zylinder während des Betriebs in dem Zylinderdeaktivierungsmodus deaktivieren. Während des Betriebs in dem Modus mit niedrigem Hub kann eine Nockenwelle ein zugeordnetes Ventil eines Zylinders in einem geringeren Ausmaß und/oder für eine kürzere Zeitdauer als während des Betriebs in einem Modus mit einem anderen Hub (z.B. in einem Modus mit einem hohen Hub) öffnen. Im Allgemeinen ist das maximale Drehmoment begrenzt, das der Motor während des Betriebs in dem FE-Modus erzeugen kann, die FE ist jedoch verbessert.

[0015] Das ECM der vorliegenden Offenbarung ermittelt, ob in einem Modus mit verbesserter FE gearbeitet werden soll, basierend auf einem maximalen Motorausgangsdrehmoment, das während des Betriebs in dem Modus mit verbesserter FE erreicht werden kann. Spezieller ermittelt das ECM einen Einstiegs- und einen Ausstiegsschwellenwert für das Einsteigen in den Betrieb in dem Modus mit verbesserter FE bzw. für das Aussteigen aus dem Betrieb in diesem basierend auf dem maximalen Motorausgangsdrehmoment. Das ECM löst den Einstieg in den Betrieb in dem Modus mit verbesserter FE und den Ausstieg aus diesem aus, wenn eine Drehmomentanforderung kleiner als der Einstiegsschwellenwert bzw. größer als der Ausstiegsschwellenwert ist.

[0016] Nun auf **Fig. 1** Bezug nehmend, ist ein Funktionsblockdiagramm eines beispielhaften Motorsystems **100** dargestellt. Das Motorsystem **100** weist einen Motor **102** auf, der ein Luft/Kraftstoffgemisch verbrennt, um ein Antriebsdrehmoment für ein Fahrzeug basierend auf einer Fahrereingabe von einem Fahrereingabemodul **104** zu erzeugen. Luft wird durch ein Drosselventil **112** in einen Einlasskrümmer **110** eingelassen. Lediglich beispielhaft kann das Drosselventil **112** ein Schmetterlingsventil mit einem rotierbaren Blatt umfassen. Ein Motorsteuermodul (ECM) **114** steuert ein Drossel-Aktuatormodul **116**, welches das Öffnen des Drosselventils **112** regelt, um die Luftmenge zu steuern, die in den Einlasskrümmer **110** eingelassen wird.

[0017] Luft aus dem Einlasskrümmer **110** wird in Zylinder des Motors **102** eingelassen. Obgleich der Motor **102** mehr als einen Zylinder aufweisen kann, ist zu Darstellungszwecken ein einzelner repräsentativer Zylinder **118** gezeigt. Lediglich beispielhaft kann der Motor **102 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10** und/oder **12** Zylinder aufweisen. Das ECM **114** kann ein Zylinder-Aktuatormodul **120** anweisen, einige der Zylinder selektiv zu deaktivieren, was die Kraftstoffwirtschaftlichkeit unter bestimmten Motorbetriebsbedingungen verbessern kann.

[0018] Der Motor **102** kann unter Verwendung eines Viertakt-Motorzyklus arbeiten. Die vier Takte, die nachstehend beschrieben sind, werden als der Einlassstakt, der Kompressionstakt, der Verbrennungstakt und der Auslassstakt bezeichnet. Während jeder Umdrehung einer Kurbelwelle (nicht gezeigt) treten zwei der vier Takte in dem Zylinder **118** auf. Daher sind zwei Kurbelwellenumdrehungen für den Zylinder **118** notwendig, um alle vier Takte zu durchlaufen.

[0019] Während des Einlassstakts wird Luft aus dem Einlasskrümmer **110** durch ein Einlassventil **122** in den Zylinder **118** eingelassen. Das ECM **114** steuert ein Kraftstoff-Aktuatormodul **124**, das die Kraftstoffeinspritzung regelt, um ein Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis zu erreichen. Kraftstoff kann an einem zentralen Ort oder an mehreren Orten, wie z.B. in der Nähe des Einlassventils **122** jedes der Zylinder, in den Einlasskrümmer **110** eingespritzt werden. Bei verschiedenen Implementierungen (nicht gezeigt) kann Kraftstoff direkt in die Zylinder oder in Mischkammern, die den Zylindern zugeordnet sind, eingespritzt werden. Das Kraftstoff-Aktuatormodul **124** kann die Einspritzung von Kraftstoff in die Zylinder stoppen, die deaktiviert sind.

[0020] Der eingespritzte Kraftstoff vermischt sich mit Luft und erzeugt ein Luft/Kraftstoffgemisch in dem Zylinder **118**. Während des Kompressionstakts komprimiert ein Kolben (nicht gezeigt) in dem Zylinder **118** das Luft/Kraftstoffgemisch. Der Motor **102** kann ein Motor mit Kompressionszündung sein, in welchem Fall die Kompression in dem Zylinder **118** die Zündung des Luft/Kraftstoffgemisches bewirkt. Alternativ kann der Motor **102** ein Motor mit Funkenzündung sein, in welchem Fall ein Zündfunken-Aktuatormodul **126** eine Zündkerze **128** in dem Zylinder **118** basierend auf einem Signal von dem ECM **114** aktiviert, welche das Luft/Kraftstoffgemisch zündet. Der Zeitpunkt des Zündfunks kann relativ zu der Zeit spezifiziert werden, zu der sich der Kolben an seiner obersten Position befindet, die als oberer Totpunkt (TDC) bezeichnet wird.

[0021] Das Zündfunken-Aktuatormodul **126** kann durch ein Zeitpunktsignal gesteuert werden, das spezifiziert, wie weit vor oder nach dem TDC der Zündfunken erzeugt werden soll. Da die Kolbenposition mit der Kurbel-

wellendrehnung in direkter Beziehung steht, kann der Betrieb des Zündfunken-Aktuatormoduls **126** mit dem Kurbelwellenwinkel synchronisiert werden. Bei verschiedenen Implementierungen kann das Zündfunken-Aktuatormodul **126** die Lieferung des Zündfunkens an die deaktivierten Zylinder stoppen.

[0022] Allgemein kann der Zündfunken als ein Zündungsereignis bezeichnet werden. Das Zündfunken-Aktuatormodul **126** kann die Fähigkeit aufweisen, den Zeitpunkt des Zündfunkens für jedes Zündungsereignis zu variieren. Zusätzlich kann das Zündfunken-Aktuatormodul **126** sogar in der Lage sein, den Zündfunkenzeitpunkt für ein nächstes Zündungsereignis zu variieren, wenn der Zündfunkenzeitpunkt zwischen dem letzten Zündungsereignis und dem nächsten Zündungsereignis verändert wird.

[0023] Während des Verbrennungstakts treibt die Verbrennung des Luft/Kraftstoffgemischs den Kolben abwärts, wodurch die Kurbelwelle angetrieben wird. Der Verbrennungstakt kann als die Zeit zwischen dem Erreichen des TDC durch den Kolben und der Zeit definiert werden, zu welcher der Kolben zu einem unteren Totpunkt (BDC) zurückkehrt.

[0024] Während des Auslasstakts beginnt der Kolben, sich wieder von dem BDC aufwärts zu bewegen, und er treibt die Nebenprodukte der Verbrennung durch ein Auslassventil **130** heraus. Die Nebenprodukte der Verbrennung werden mittels eines Abgassystems **134** aus dem Fahrzeug ausgestoßen.

[0025] Das Einlassventil **122** kann durch eine Einlassnockenwelle **140** gesteuert werden, während das Auslassventil **130** durch eine Auslassnockenwelle **142** gesteuert werden kann. Bei verschiedenen Implementierungen können mehrere Einlassnockenwellen (einschließlich der Einlassnockenwelle **140**) mehrere Einlassventile (einschließlich des Einlassventils **122**) für den Zylinder **118** und/oder die Einlassventile (einschließlich des Einlassventils **122**) mehrerer Reihen von Zylindern (einschließlich des Zylinders **118**) steuern. Auf ähnliche Weise können mehrere Auslassnockenwellen (einschließlich der Auslassnockenwelle **142**) mehrere Auslassventile für den Zylinder **118** und/oder die Auslassventile (einschließlich des Auslassventils **130**) für mehrere Reihen von Zylindern (einschließlich des Zylinders **118**) steuern.

[0026] Das Zylinder-Aktuatormodul **120** kann den Zylinder **118** deaktivieren, indem das Öffnen des Einlassventils **122** und/oder des Auslassventils **130** deaktiviert wird. Bei verschiedenen anderen Implementierungen können das Einlassventil **122** und/oder das Auslassventil **130** durch andere Einrichtungen als Nockenwellen gesteuert werden, wie beispielsweise durch elektromagnetische Aktuatoren.

[0027] Die Zeit, zu der das Einlassventil **122** geöffnet wird, kann durch einen Einlass-Nockenphasensteller **148** bezogen auf den Kolben-TDC variiert werden. Die Zeit, zu der das Auslassventil **130** geöffnet wird, kann durch einen Auslass-Nockenphasensteller **150** bezogen auf den Kolben-TDC variiert werden. Ein Phasensteller-Aktuatormodul **158** kann den Einlass-Nockenphasensteller **148** und den Auslass-Nockenphasensteller **150** basierend auf Signalen von dem ECM **114** steuern. Wenn er implementiert ist, kann ein variabler Ventilhub (nicht gezeigt) ebenso durch das Phasensteller-Aktuatormodul **158** gesteuert werden.

[0028] Das Motorsystem **100** kann eine Ladedruckeinrichtung aufweisen, die unter Druck stehende Luft an den Einlasskrümmer **110** liefert. Beispielsweise zeigt **Fig. 1** einen Turbolader, der eine heiße Turbine **160-1** aufweist, die durch heiße Abgase angetrieben wird, die durch das Abgassystem **134** strömen. Der Turbolader weist auch einen von der Turbine **160-1** angetriebenen Kompressor **160-2** für kalte Luft auf, der Luft komprimiert, die in das Drosselventil **112** geführt wird. Bei verschiedenen Implementierungen kann ein von der Kurbelwelle angetriebener Turbokompressor (nicht gezeigt) Luft von dem Drosselventil **112** komprimieren und die komprimierte Luft an den Einlasskrümmer **110** liefern.

[0029] Ein Ladedruck-Regelventil **162** kann dem Abgas ermöglichen, an der Turbine **160-1** vorbeizuströmen, wodurch der Ladedruck (der Betrag der Einlassluftkompression) des Turboladers verringert wird. Das ECM **114** kann den Turbolader mittels eines Ladedruck-Aktuatormoduls **164** steuern. Das Ladedruck-Aktuatormodul **164** kann den Ladedruck des Turboladers modulieren, indem die Position des Ladedruck-Regelventils **162** gesteuert wird. Bei verschiedenen Implementierungen können mehrere Turbolader durch das Ladedruck-Aktuatormodul **164** gesteuert werden. Der Turbolader kann eine variable Geometrie aufweisen, die durch das Ladedruck-Aktuatormodul **164** gesteuert werden kann.

[0030] Ein Zwischenkühler (nicht gezeigt) kann einen Teil der in der komprimierten Lufladung enthaltenen Wärme dissipieren, die erzeugt wird, wenn die Luft komprimiert wird. Die komprimierte Lufladung kann auch Wärme von Komponenten des Abgassystems **134** absorbiert haben. Obwohl sie zu Darstellungszwecken ge-

trennt gezeigt sind, können die Turbine **160-1** und der Kompressor **160-2** aneinander befestigt sein und die Einlassluft in die unmittelbare Nähe des heißen Abgases bringen.

[0031] Das Motorsystem **100** kann ein Abgasrückführungsventil (AGR-Ventil) **170** aufweisen, das Abgas selektiv zurück zu dem Einlasskrümmer **110** zurückleitet. Das AGR-Ventil **170** kann stromaufwärts der Turbine **160-1** des Turboladers angeordnet sein. Das AGR-Ventil **170** kann durch ein AGR-Aktuormodul **172** gesteuert werden.

[0032] Das Motorsystem **100** kann die Drehzahl der Kurbelwelle in Umdrehungen pro Minute (RPM) unter Verwendung eines RPM-Sensors **180** messen. Die Temperatur des Motorkühlmittels kann unter Verwendung eines Motorkühlmittel-Temperatursensors (ECT-Sensors) **182** gemessen werden. Der ECT-Sensor **182** kann in dem Motor **102** oder an anderen Orten angeordnet sein, an denen das Kühlmittel zirkuliert, wie z.B. einem Kühler (nicht gezeigt).

[0033] Der Druck in dem Einlasskrümmer **110** kann unter Verwendung eines Krümmerabsolutdrucksensors (MAP-Sensors) **184** gemessen werden. Bei verschiedenen Implementierungen kann ein Motorunterdruck gemessen werden, der die Differenz zwischen dem Umgebungsluftdruck und dem Druck in dem Einlasskrümmer **110** ist. Die Luftmassenströmungsrate in den Einlasskrümmer **110** kann unter Verwendung eines Luftmassenströmungssensors (MAF-Sensors) **186** gemessen werden. Bei verschiedenen Implementierungen kann der MAF-Sensor **186** in einem Gehäuse angeordnet sein, das auch das Drosselventil **112** umfasst.

[0034] Das Drossel-Aktuormodul **116** kann die Position des Drosselventils **112** unter Verwendung eines oder mehrerer Drosselpositionssensoren (TPS) **190** überwachen. Die Umgebungstemperatur der Luft, die in den Motor **102** eingelassen wird, kann unter Verwendung eines Einlassluft-Temperatursensors (IAT-Sensors) **192** gemessen werden. Das ECM **114** kann Signale von einem oder mehreren Sensoren verwenden, um Steuerentscheidungen für das Motorsystem **100** zu treffen.

[0035] Das ECM **114** kann mit einem Getriebesteuermodul **194** in Verbindung stehen, um Gangwechsel in einem Getriebe (nicht gezeigt) abzustimmen. Lediglich beispielhaft kann das ECM **114** das Motordrehmoment während eines Gangwechsels verringern. Das ECM **114** kann mit einem Hybridsteuermodul **196** in Verbindung stehen, um den Betrieb des Motors **102** und eines Elektromotors **198** abzustimmen.

[0036] Der Elektromotor **198** kann auch als ein Generator funktionieren, und er kann verwendet werden, um elektrische Energie zur Verwendung durch elektrische Systeme des Fahrzeugs und/oder zur Speicherung in einer Batterie zu erzeugen. Bei verschiedenen Implementierungen können verschiedene Funktionen des ECM **114**, des Getriebesteuermoduls **194** und des Hybridsteuermoduls **196** in ein oder mehrere Module integriert werden.

[0037] Jedes System, das einen Motorparameter variiert, kann als ein Motoraktuator bezeichnet werden, der einen Aktuatorwert empfängt. Beispielsweise kann das Drossel-Aktuormodul **116** als ein Motoraktuator bezeichnet werden, und die Drosselöffnungsfläche kann als der zugeordnete Aktuatorwert bezeichnet werden. In dem Beispiel von **Fig. 1** erreicht das Drossel-Aktuormodul **116** die Drosselöffnungsfläche, indem ein Winkel des Blatts des Drosselventils **112** angepasst wird.

[0038] Auf ähnliche Weise kann das Zündfunken-Aktuormodul **126** als ein Motoraktuator bezeichnet werden, während sich der zugeordnete Aktuatorwert auf den Betrag der Zündfunkenvorverstellung relativ zu dem Zylinder-TDC beziehen kann. Andere Motoraktuatoren können das Zylinder-Aktuormodul **120**, das Kraftstoff-Aktuormodul **124**, das Phasensteller-Aktuormodul **158**, das Ladedruck-Aktuormodul **164** und das AGR-Aktuormodul **172** umfassen. Für diese Motoraktuatoren können die Aktuatorwerte der Anzahl der aktiven Zylinder, der Kraftstoffzufuhrrate, dem Einlass- und dem Auslass-Nockenphasenstellerwinkel, dem Ladedruck bzw. der AGR-Ventilöffnungsfläche entsprechen. Das ECM **114** kann die Aktuatorwerte steuern, um zu bewirken, dass der Motor **102** ein gewünschtes Motorausgangsdrehmoment erreicht.

[0039] Nun auf **Fig. 2** Bezug nehmend, ist ein Funktionsblockdiagramm eines beispielhaften Motorsteuersystems dargestellt. Eine beispielhafte Implementierung des ECM **114** umfasst ein Fahrerdrehmomentmodul **202**, ein Achsendrehmoment-Vermittlungsmodul **204** und ein Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul **206**. Das ECM **114** kann auch ein Hybridoptimierungsmodul **208** umfassen. Die beispielhafte Implementierung des ECM **114** umfasst auch ein Reserven/Lastenmodul **220**, ein Betätigungsmodul **224**, ein Luftsteuermodul **228**, ein Zündfunkensteuermodul **232**, ein Zylindersteuermodul **236** und ein Kraftstoffsteuermodul **240**. Die bei-

spielhafte Implementierung des ECM 114 umfasst auch ein Drehmomentschätzmodul 244, Ladedruck-Zeitplanungsmodul 248 und ein Phasensteller-Zeitplanungsmodul 252.

[0040] Das Fahrerdrehmomentmodul 202 kann eine Fahrerdrehmomentanforderung 254 basierend auf einer Fahrereingabe 255 von dem Fahrereingabemodul 104 ermitteln. Die Fahrereingabe 255 kann beispielsweise auf einer Gaspedalposition und/oder einer Bremspedalposition basieren. Die Fahrereingabe 255 kann auch auf einem Tempomat basieren, der ein adaptives Tempomatsystem sein kann, das die Fahrzeuggeschwindigkeit variiert, um eine vorbestimmte Nachfolgedistanz aufrechtzuerhalten. Das Fahrerdrehmomentmodul 202 kann eine oder mehrere Abbildungen der Gaspedalposition auf ein Soll-Drehmoment speichern, und es kann die Fahrerdrehmomentanforderung 254 basierend auf einer ausgewählten der Abbildungen ermitteln.

[0041] Ein Achsendrehmoment-Vermittlungsmodul 204 vermittelt zwischen der Fahrerdrehmomentanforderung 254 und anderen Achsendrehmomentanforderungen 256. Ein Achsendrehmoment (Drehmoment an den Rädern) kann durch verschiedene Quellen erzeugt werden, die einen Verbrennungsmotor und/oder einen Elektromotor umfassen. Allgemein können die Drehmomentanforderungen absolute Drehmomentanforderungen wie auch relative Drehmomentanforderungen und Rampenanforderungen umfassen. Lediglich beispielhaft können die Rampenanforderungen eine Anforderung umfassen, dass das Drehmoment bis zu einem minimalen Motorabschaltmoment rampenartig abnimmt oder dass das Drehmoment von einem minimalen Motorabschaltmoment rampenartig zunimmt. Relative Drehmomentanforderungen können vorübergehende oder dauerhafte Drehmomentverringerungen oder -zunahmen umfassen.

[0042] Die Achsendrehmomentanforderungen 256 können eine Drehmomentverringerung umfassen, die von einem Traktionssteuersystem angefordert wird, wenn ein positiver Radschlupf detektiert wird. Ein positiver Radschlupf tritt auf, wenn das Achsendrehmoment die Reibung zwischen den Rädern und der Straßenoberfläche überwindet und die Räder beginnen, gegenüber der Straßenoberfläche zu rutschen. Die anderen Achsendrehmomentanforderungen 256 können auch eine Anforderung einer Drehmomentzunahme umfassen, um einem negativen Radschlupf entgegenwirken, bei dem ein Reifen des Fahrzeugs bezogen auf die Straßenoberfläche in der anderen Richtung rutscht, da das Achsendrehmoment negativ ist.

[0043] Die Achsendrehmomentanforderungen 256 können auch Bremsmanagementanforderungen und Drehmomentanforderungen aufgrund überhöhter Fahrzeuggeschwindigkeit umfassen. Bremsmanagementanforderungen können das Achsendrehmoment verringern, um sicherzustellen, dass das Achsendrehmoment nicht die Fähigkeit der Bremsen übersteigt, das Fahrzeug zu halten, wenn das Fahrzeug gestoppt wird. Die Drehmomentanforderungen aufgrund überhöhter Fahrzeuggeschwindigkeit können das Achsendrehmoment verringern, um zu verhindern, dass das Fahrzeug eine vorbestimmte Geschwindigkeit überschreitet. Die Achsendrehmomentanforderungen 256 können auch von Fahrzeugstabilitäts-Kontrollsystmen erzeugt werden.

[0044] Das Achsendrehmoment-Vermittlungsmodul 204 gibt eine vorausgesagte Drehmomentanforderung 257 und eine Momentandrehmomentanforderung 258 basierend auf den Ergebnissen einer Vermittlung zwischen den empfangenen Drehmomentanforderungen 254 und 256 aus. Wie nachstehend beschrieben ist, können die vorausgesagte Drehmomentanforderung 257 und die Momentandrehmomentanforderung 258 von dem Achsendrehmoment-Vermittlungsmodul 204 durch andere Module des ECM 114 selektiv angepasst werden, bevor sie verwendet werden, um Aktuatoren des Motorsystems 100 zu steuern.

[0045] Allgemein ausgedrückt ist die Momentandrehmomentanforderung 258 der Betrag des derzeitigen Soll-Achsendrehmoments, während die vorausgesagte Drehmomentanforderung 257 der Betrag des Achsendrehmoments ist, der kurzfristig benötigt werden kann. Das ECM 114 steuert das Motorsystem 100, um ein Achsendrehmoment zu erzeugen, das gleich der Momentandrehmomentanforderung 258 ist. Verschiedene Kombinationen von Aktuatorwerten können jedoch zu demselben Achsendrehmoment führen. Das ECM 114 kann daher die Aktuatorwerte anpassen, um einen schnelleren Übergang zu der vorausgesagten Drehmomentanforderung 257 zu ermöglichen, während das Achsendrehmoment weiterhin bei der Momentdrehmomentanforderung 258 gehalten wird.

[0046] Bei verschiedenen Implementierungen kann die vorausgesagte Drehmomentanforderung 257 auf der Fahrerdrehmomentanforderung 254 basieren. Die Momentandrehmomentanforderung 258 kann kleiner als die vorausgesagte Drehmomentanforderung 257 sein, beispielsweise wenn die Fahrerdrehmomentanforderung 254 auf einer vereisten Oberfläche einen Radschlupf verursacht. In einem solchen Fall kann ein Traktionssteuersystem (nicht gezeigt) eine Verringerung mittels der Momentandrehmomentanforderung 258 anfordern, und ECM 114 verringert das Drehmoment, das durch das Motorsystem 100 erzeugt wird, auf die Momentandrehmomentanforderung 258. Das ECM 114 steuert das Motorsystem 100 jedoch derart, dass das Motorsystem

100 die Erzeugung der vorausgesagten Drehmomentanforderung **257** schnell wieder aufnehmen kann, sobald der Radschlupf aufhört.

[0047] Allgemein ausgedrückt kann die Differenz zwischen der Momentandrehmomentanforderung **258** und der (im Allgemeinen höheren) vorausgesagten Drehmomentanforderung **257** als eine Drehmomentreserve bezeichnet werden. Die Drehmomentreserve kann den Betrag eines zusätzlichen Drehmoments (oberhalb der Momentandrehmomentanforderung **258**) repräsentieren, den das Motorsystem **100** mit einer minimalen Verzögerung zu erzeugen beginnen kann. Schnelle Motoraktuatoren werden verwendet, um das gegenwärtige Achsendrehmoment zu erhöhen oder zu verringern. Nachstehend ist detaillierter beschrieben, wie schnelle Motoraktuatoren im Gegensatz zu langsamen Motoraktuatoren definiert sind.

[0048] Bei verschiedenen Implementierungen können die schnellen Motoraktuatoren das Achsendrehmoment in einem Bereich variieren, wobei der Bereich durch die langsamen Motoraktuatoren festgelegt wird. Bei solchen Implementierungen ist die obere Grenze des Bereichs die vorausgesagte Drehmomentanforderung **257**, während die untere Grenze des Bereichs durch die Drehmomentkapazität der schnellen Aktuatoren begrenzt ist. Lediglich beispielhaft können die schnellen Aktuatoren das Achsendrehmoment nur um einen ersten Betrag verringern, wobei der erste Betrag ein Maß für die Drehmomentkapazität der schnellen Aktuatoren ist. Der erste Betrag kann basierend auf Motorbetriebsbedingungen variieren, die durch die langsamen Motoraktuatoren festgelegt werden. Wenn die Momentandrehmomentanforderung **258** innerhalb des Bereichs liegt, können die schnellen Motoraktuatoren eingestellt werden, um zu bewirken, dass das Achsendrehmoment gleich der Momentandrehmomentanforderung **258** ist. Wenn das ECM **114** anfordert, dass die vorausgesagte Drehmomentanforderung **257** ausgegeben werden soll, können die schnellen Motoraktuatoren gesteuert werden, um das Achsendrehmoment bis zum dem Spitzenwert des Bereichs zu variieren, der die vorausgesagte Drehmomentanforderung **257** ist.

[0049] Allgemein ausgedrückt können die schnellen Motoraktuatoren das Achsendrehmoment im Vergleich zu den langsamen Motoraktuatoren schneller verändern. Die langsamen Motoraktuatoren können langsamer als die schnellen Motoraktuatoren auf Änderungen ihrer jeweiligen Aktuatorwerte ansprechen. Ein langsamer Motoraktuator kann beispielsweise mechanische Komponenten umfassen, die Zeit erfordern, um sich in Ansprechen auf eine Änderung des Aktuatorwerts von einer Position in eine andere zu bewegen. Ein langsamer Motoraktuator kann auch durch die Zeitspanne charakterisiert werden, die benötigt wird, damit sich das Achsendrehmoment zu ändern beginnt, sobald der schnelle Motoraktuator den veränderten Aktuatorwert zu implementieren beginnt. Allgemein wird diese Zeitspanne für schnelle Motoraktuatoren länger als für schnelle Motoraktuatoren sein. Sogar nachdem es sich zu verändern beginnt, kann das Achsendrehmoment zusätzlich länger benötigen, um auf eine Änderung in einem langsamen Aktuator vollständig anzusprechen.

[0050] Lediglich beispielhaft kann das ECM **114** die Aktuatorwerte für die langsamen Aktuatoren auf Werte festlegen, die dem Motorsystem **100** ermöglichen würden, die vorausgesagte Drehmomentanforderung **257** zu erzeugen, wenn die schnellen Aktuatoren auf geeignete Werte eingestellt werden würden. In der Zwischenzeit kann das ECM **114** die Aktuatorwerte für die schnellen Aktuatoren auf Werte einstellen, die für die gegebenen Werte der langsamen Aktuatoren bewirken, dass das Motorsystem **100** die Momentandrehmomentanforderung **258** anstelle der vorausgesagten Drehmomentanforderung **257** erzeugt.

[0051] Die schnellen Aktuatorwerte bewirken daher, dass das Motorsystem **100** die Momentandrehmomentanforderung **258** erzeugt. Wenn das ECM **114** entscheidet, das Achsendrehmoment von der Momentandrehmomentanforderung **258** zu der vorausgesagten Drehmomentanforderung **257** überzuleiten, ändert ECM **114** die Aktuatorwerte für einen oder mehrere schnelle Aktuatoren auf Werte, die der vorausgesagten Drehmomentanforderung **257** entsprechen. Da die langsamen Aktuatorwerte bereits basierend auf der vorausgesagten Drehmomentanforderung **257** eingestellt wurden, ist das Motorsystem **100** in der Lage, die vorausgesagte Drehmomentanforderung **257** nach nur einer solchen Verzögerung zu erzeugen, die den schnellen Motoraktuatoren zuzuschreiben ist. Mit anderen Worten wird die längere Verzögerung vermieden, die ansonsten aus einem Verändern des Achsendrehmoments unter Verwendung der langsamen Motoraktuatoren resultieren würde.

[0052] Lediglich beispielhaft kann dann, wenn die vorausgesagte Drehmomentanforderung **257** gleich der Fahrerdrehmomentanforderung **254** ist, eine Drehmomentreserve erzeugt werden, wenn die Momentandrehmomentanforderung **258** aufgrund einer vorübergehenden Drehmoment-Verringerungsanforderung kleiner als die Fahrerdrehmomentanforderung **254** ist. Alternativ kann eine Drehmomentreserve erzeugt werden, indem die vorausgesagte Drehmomentanforderung **257** über die Fahrerdrehmomentanforderung **254** hinaus erhöht wird, während die Momentandrehmomentanforderung **258** bei der Fahrerdrehmomentanforderung **254** gehal-

ten wird. Die resultierende Drehmomentreserve kann plötzliche Zunahmen in dem erforderlichen Achsendrehmoment absorbieren. Lediglich beispielhaft können plötzliche Lasten ausgeglichen werden, die durch eine Klimaanlage oder eine Servolenkungspumpe ausgeübt werden, indem die Momentandrehmomentanforderung **258** erhöht wird. Wenn die Zunahme der Momentandrehmomentanforderung **258** kleiner als die Drehmomentreserve ist, kann die Zunahme schnell erzeugt werden, indem die schnellen Aktuatoren verwendet werden. Die vorausgesagte Drehmomentanforderung **257** kann ebenso erhöht werden, um die vorhergehende Drehmomentreserve wieder herzustellen.

[0053] Eine andere beispielhafte Verwendung einer Drehmomentreserve ist es, Schwankungen in den langsamem Aktuatorwerten zu verringern. Aufgrund ihrer relativ langsamen Geschwindigkeit kann ein Variieren von langsamem Aktuatorwerten eine Steuerinstabilität erzeugen. Zusätzlich können die langsamem Aktuatoren mechanische Teile aufweisen, die mehr Leistung aufnehmen und/oder schneller abgenutzt werden können, wenn sie häufig bewegt werden. Das Erzeugen einer ausreichenden Drehmomentreserve ermöglicht, dass Änderungen in dem Soll-Drehmoment ausgeführt werden können, indem die schnellen Motoraktuatoren mittels der Momentandrehmomentanforderung **258** variiert werden, während die Werte der langsamem Motoraktuatoren beibehalten werden. Um beispielsweise eine gegebene Leerlaufdrehzahl aufrechtzuerhalten, kann die Momentandrehmomentanforderung **258** in einem Bereich variiert werden. Wenn die vorausgesagte Drehmomentanforderung **257** auf ein Niveau oberhalb dieses Bereichs festgelegt wird, können Veränderungen in der Momentandrehmomentanforderung **258**, welche die Leerlaufdrehzahl aufrechterhalten, unter Verwendung der schnellen Motoraktuatoren ohne die Notwendigkeit ausgeführt werden, die langsamem Motoraktuatoren anzupassen.

[0054] Lediglich beispielhaft kann der Zündfunkenzeitpunkt in einem Motor mit Funkenzündung ein schneller Aktuatorwert sein, während die Drosselöffnungsfläche ein langsamer Aktuatorwert sein kann. Motoren mit Funkenzündung können Kraftstoffe, die beispielsweise Benzin und Ethanol umfassen, durch Anwendung eines Zündfunkens verbrennen. Im Gegensatz dazu kann bei einem Motor mit Kompressionszündung die Kraftstoffströmung ein schneller Aktuatorwert sein, während die Drosselposition als ein Aktuatorwert für andere Motoreigenschaften als das Drehmoment verwendet werden kann. Motoren mit Kompressionszündung können Kraftstoffe verbrennen, die beispielsweise Diesel umfassen, indem die Kraftstoffe komprimiert werden.

[0055] Wenn der Motor **102** ein Motor mit Funkenzündung ist, kann das Zündfunken-Aktuatormodul **126** ein schneller Aktuator sein, und das Drossel-Aktuatormodul **116** kann ein langsamer Aktuator sein. Nachdem ein neuer Aktuatorwert empfangen wurde, kann das Zündfunken-Aktuatormodul **126** in der Lage sein, den Zündfunkenzeitpunkt für das nachfolgende Zündungssereignis zu verändern. Wenn der Zündfunkenzeitpunkt (auch Zündfunkenvorverstellung genannt) für ein Zündungssereignis auf einen optimalen Wert eingestellt wird, kann ein maximaler Drehmomentbetrag während des Verbrennungstakts unmittelbar nach dem Zündungssereignis erzeugt werden. Eine Zündfunkenvorverstellung, die von dem optimalen Wert abweicht, kann jedoch den Drehmomentbetrag verringern, der in dem Verbrennungstakt erzeugt wird. Daher kann das Zündfunken-Aktuatormodul **126** in der Lage sein, das Motorausgangsdrehmoment durch ein Variieren des Zündfunkenzeitpunkts zu verändern, sobald das nächste Zündungssereignis auftritt. Lediglich beispielhaft kann eine Tabelle mit Zündfunkenvorverstellungen, die verschiedenen Motorbetriebsbedingungen entsprechen, während einer Kalibrierungsphase der Fahrzeugkonstruktion ermittelt werden, und der optimale Wert wird basierend auf den gegenwärtigen Motorbetriebsbedingungen aus der Tabelle ausgewählt.

[0056] Im Gegensatz dazu benötigen Änderungen in der Drosselöffnungsfläche länger, um das Motorausgangsdrehmoment zu beeinflussen. Das Drossel-Aktuatormodul **116** verändert die Drosselöffnungsfläche, indem der Winkel des Blatts des Drosselventils **112** angepasst wird. Sobald ein neuer Aktuatorwert empfangen wird, gibt es daher eine mechanische Verzögerung, wenn sich das Drosselventil **112** basierend auf dem neuen Aktuatorwert von seiner vorhergehenden Position in eine neue Position bewegt. Zusätzlich sind Luftströmungsänderungen basierend auf der Drosselöffnungsfläche Lufttransportverzögerungen in dem Einlasskrümmer **110** ausgesetzt. Ferner wird eine erhöhte Luftströmung in dem Einlasskrümmer **110** nicht als eine Erhöhung des Motorausgangsdrehmoments realisiert, bis der Zylinder **118** in dem nächsten Einlassakt zusätzliche Luft aufnimmt, die zusätzliche Luft komprimiert und den Verbrennungstakt beginnt.

[0057] Unter Verwendung dieser Aktuatoren als ein Beispiel kann eine Drehmomentreserve erzeugt werden, indem die Drosselposition auf einen Wert eingestellt wird, der dem Motor **102** ermöglichen würde, eine vorausgesagte Drehmomentanforderung **257** zu erzeugen. In der Zwischenzeit kann der Zündfunkenzeitpunkt basierend auf einer Momentandrehmomentanforderung **258** eingestellt werden, die kleiner als die vorgesagte Drehmomentanforderung **257** ist. Obwohl die Drosselöffnungsfläche eine ausreichende Luftströmung für den Motor **102** erzeugt, um die vorausgesagte Drehmomentanforderung **257** zu erzeugen, wird der Zündfunkenzeitpunkt

basierend auf der Momentandrehmomentanforderung **258** nach spät verstellt (was das Drehmoment verringert). Das Motorausgangsdrehmoment wird daher gleich der Momentandrehmomentanforderung **258** sein.

[0058] Wenn ein zusätzliches Drehmoment erforderlich ist, kann der Zündfunkenzeitpunkt basierend auf der vorausgesagten Drehmomentanforderung **257** oder einem Drehmoment zwischen der vorausgesagten Drehmomentanforderung **257** und der Momentandrehmomentanforderung **258** eingestellt werden. Mit dem nachfolgenden Zündungsereignis kann das Zündfunken-Aktuormodul **126** die Zündfunkenvorverstellung auf einen optimalen Wert zurücksetzen, der dem Motor **102** ermöglicht, das volle Motorausgangsdrehmoment zu erzeugen, das mit der bereits vorhandenen Luftströmung erreichbar ist. Das Motorausgangsdrehmoment kann daher schnell auf die vorausgesagte Drehmomentanforderung **257** erhöht werden, ohne dass Verzögerungen aufgrund des Änderns der Drosselöffnungsfläche wahrgenommen werden.

[0059] Wenn der Motor **102** ein Motor mit Kompressionszündung ist, kann das Kraftstoff-Aktuormodul **124** ein schneller Aktuator sein, und das Drossel-Aktuormodul **116** und das Ladedruck-Aktuormodul **164** können Emissionsaktuatoren sein. Die Kraftstoffmasse kann basierend auf der Momentdrehmomentanforderung **258** festgelegt werden, und die Drosselöffnungsfläche, der Ladedruck und die AGR-Öffnung können basierend auf der vorausgesagten Drehmomentanforderung **257** festgelegt werden. Die Drosselöffnungsfläche kann mehr Luftströmung erzeugen, als notwendig ist, um die vorausgesagte Drehmomentanforderung **257** zu erfüllen. Umgekehrt kann die erzeugte Luftströmung größer sein, als für eine vollständige Verbrennung des eingespritzten Kraftstoffs erforderlich ist, so dass das Luft/Kraftstoffverhältnis üblicherweise mager ist und Änderungen in der Luftströmung das Motorausgangsdrehmoment nicht beeinflussen. Das Motorausgangsdrehmoment wird daher gleich der Momentandrehmomentanforderung **258** sein, und es kann durch das Einstellen der Kraftstoffströmung erhöht oder verringt werden.

[0060] Das Drossel-Aktuormodul **116**, das Ladedruck-Aktuormodul **164** und das AGR-Ventil **170** können basierend auf der vorausgesagten Drehmomentanforderung **257** gesteuert werden, um Emissionen zu steuern und ein Turboloch zu minimieren. Das Drossel-Aktuormodul **116** kann einen Unterdruck in dem Einlasskrümmer **110** erzeugen, um Abgase durch das AGR-Ventil **170** und in den Einlasskrümmer **110** zu saugen.

[0061] Das Achsendrehmoment-Vermittlungsmodul **204** kann die vorausgesagte Drehmomentanforderung **257** und die Momentandrehmomentanforderung **258** an ein Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul **206** ausgeben. Bei verschiedenen Implementierungen kann das Achsendrehmoment-Vermittlungsmodul **204** die vorausgesagte Drehmomentanforderung **257** und die Momentandrehmomentanforderung **258** an ein Hybridoptimierungsmodul **208** ausgeben.

[0062] Das Hybridoptimierungsmodul **208** kann ermitteln, wie viel Drehmoment durch den Motor **102** erzeugt werden sollte und wie viel Drehmoment durch den Elektromotor **198** erzeugt werden sollte. Das Hybridoptimierungsmodul **208** gibt dann eine modifizierte vorausgesagte Drehmomentanforderung **259** bzw. eine modifizierte Momentandrehmomentanforderung **260** an das Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul **206** aus. Bei verschiedenen Implementierungen kann das Hybridoptimierungsmodul **208** in dem Hybridsteuermodul **196** implementiert werden.

[0063] Die vorausgesagte Drehmomentanforderung und die Momentandrehmomentanforderung, die von dem Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul **206** empfangen werden, werden von einer Achsendrehmomentdomäne (Drehmoment an den Rädern) in eine Antriebsdrehmomentdomäne (Drehmoment an der Kurbelwelle) umgewandelt. Diese Umwandlung kann vor oder nach dem Hybridoptimierungsmodul **208**, als Teil von diesem oder an dessen Stelle auftreten.

[0064] Das Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul **206** vermittelt zwischen Antriebsdrehmomentanforderungen **279**, einschließlich der umgewandelten vorausgesagten Drehmomentanforderung und der umgewandelten Momentandrehmomentanforderung. Das Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul **206** erzeugt eine vermittelte vorausgesagte Drehmomentanforderung **261** und eine vermittelte Momentandrehmomentanforderung **262**. Die vermittelten Drehmomentanforderungen **261** und **262** können erzeugt werden, indem eine gewinnende Anforderung unter den empfangenen Anforderungen ausgewählt wird. Alternativ oder zusätzlich können die vermittelten Drehmomentanforderungen erzeugt werden, indem eine der empfangenen Anforderungen basierend auf einer oder mehreren anderen der empfangenen Drehmomentanforderungen modifiziert wird.

[0065] Die Antriebsdrehmomentanforderungen **279** können Drehmomentverringerungen zum Schutz vor überhöhter Motordrehzahl, Drehmomentzunahmen zum Verhindern eines Abwürgens und Drehmomentverringerungen umfassen, die von dem Getriebesteuermodul **194** angefordert werden, um Gangwechsel aufzu-

nehmen. Die Antriebsdrehmomentanforderungen 279 können auch aus einer Kraftstoffabschaltung wegen der Kupplung resultieren, die das Motorausgangsdrehmoment dann verringert, wenn der Fahrer bei einem Fahrzeug mit Schaltgetriebe das Kupplungspedal niederdrückt, um ein Aufbrausen (einen schnellen Anstieg) der Motordrehzahl zu verhindern.

[0066] Die Antriebsdrehmomentanforderungen 279 können auch eine Motorabschaltanforderung umfassen, die ausgelöst werden kann, wenn ein kritischer Fehler detektiert wird. Lediglich beispielhaft können die kritischen Fehler die Detektion eines Fahrzeugdiebstahls, einen blockierten Anlasser, Probleme mit der elektronischen Drosselsteuerung und unerwartete Drehmomentzunahmen umfassen. Bei verschiedenen Implementierungen wählt die Vermittlung die Motorabschaltanforderung als die gewinnende Anforderung aus, wenn eine Motorabschaltanforderung vorliegt. Wenn die Motorabschaltanforderung vorliegt, kann das Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul 206 Null für die vermittelte vorausgesagte Drehmomentanforderung 261 und die vermittelte Momentandrehmomentanforderung 262 ausgeben.

[0067] Bei verschiedenen Implementierungen kann eine Motorabschaltanforderung den Motor 102 separat von dem Vermittlungsprozess einfach abschalten. Das Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul 206 kann die Motorabschaltanforderung weiterhin empfangen, so dass beispielsweise geeignete Daten zu den anderen Drehmomentanforderern zurückgeführt werden können. Beispielsweise können alle anderen Drehmomentanforderer informiert werden, dass sie die Vermittlung verloren haben.

[0068] Das Reserven/Lastenmodul 220 empfängt die vermittelte vorausgesagte Drehmomentanforderung 261 und die vermittelte Momentandrehmomentanforderung 262. Das Reserven/Lastenmodul 220 kann die vermittelte vorausgesagte Drehmomentanforderung 261 und die vermittelte Momentandrehmomentanforderung 262 anpassen, um eine Drehmomentreserve zu erzeugen und/oder eine oder mehrere Lasten zu kompensieren. Das Reserven/Lastenmodul 220 gibt anschließend eine angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung 263 und eine angepasste Momentandrehmomentanforderung 264 an das Betätigungsmodul 224 aus.

[0069] Lediglich beispielhaft kann ein Katalysator-Anspringprozess oder ein Prozess zur Verringerung von Kaltstartemissionen erfordern, dass die Zündfunkenvorverstellung nach spät verstellt wird. Das Reserven/Lastenmodul 220 kann daher die angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung 263 über die angepasste Momentandrehmomentanforderung 264 hinaus erhöhen, um einen nach spät verstellten Zündfunken für den Prozess zur Verringerung von Kaltstartemissionen zu erzeugen. Bei einem anderen Beispiel können das Luft/Kraftstoffverhältnis des Motors und/oder die Luftmassenströmung direkt variiert werden, wie z.B. durch ein Testen des Äquivalenzverhältnisses mittels einer eingreifenden Diagnostik und/oder durch ein Spülen eines neuen Motors. Bevor diese Prozesse beginnen, kann eine Drehmomentreserve erzeugt oder erhöht werden, um Verringerungen in dem Motorausgangsdrehmoment schnell auszugleichen, die während dieser Prozesse daraus resultieren, dass das Luft/Kraftstoffgemisch magerer wird.

[0070] Das Reserven/Lastenmodul 220 kann auch eine Drehmomentreserve in Erwartung einer zukünftigen Last erzeugen, wie z.B. des Betriebs der Servolenkungspumpe oder des Einrückens einer Klimaanlagen-Kompressorkupplung (A/C-Kompressorkupplung). Die Reserve für das Einrücken der A/C-Kompressorkupplung kann erzeugt werden, wenn der Fahrer die Klimaanlage zum ersten Mal anfordert. Das Reserven/Lastenmodul 220 kann die angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung 263 erhöhen, während die angepasste Momentandrehmomentanforderung 264 unverändert belassen wird, um die Drehmomentreserve zu erzeugen. Dann, wenn die A/C-Kompressorkupplung einrückt, kann das Reserven/Lastenmodul 220 die angepasste Momentandrehmomentanforderung 264 um die geschätzte Last der A/C-Kompressorkupplung erhöhen.

[0071] Das Betätigungsmodul 224 empfängt die angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung 263 und die angepasste Momentandrehmomentanforderung 264. Das Betätigungsmodul 224 ermittelt, wie die angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung 263 und die angepasste Momentandrehmomentanforderung 264 erreicht werden. Das Betätigungsmodul 224 kann für den Motortyp spezifisch sein. Beispielsweise kann das Betätigungsmodul 224 für Motoren mit Funkenzündung gegenüber Motoren mit Kompressionszündung unterschiedlich implementiert werden oder unterschiedliche Steuerschemata verwenden.

[0072] Bei verschiedenen Implementierungen kann das Betätigungsmodul 224 eine Grenze zwischen den Modulen, die bei allen Motortypen üblich sind, und den Modulen definieren, die für den Motortyp spezifisch sind. Lediglich beispielhaft können die Motortypen Motoren mit Funkenzündung und Motoren mit Kompressionszündung umfassen. Die Module vor dem Betätigungsmodul 224, wie beispielsweise das Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul 206, können bei allen Motortypen üblich sein, während das Betätigungsmodul 224 und die nachfolgenden Module für den Motortyp spezifisch sein können.

[0073] Das Betätigungsmodul **224** kann beispielsweise in einem Motor mit Funkenzündung das Öffnen des Drosselventsils **112** als einen langsamen Aktuator variieren, was einen weiten Bereich für die Drehmomentsteuerung ermöglicht. Das Betätigungsmodul **224** kann Zylinder unter Verwendung des Zylinder-Aktuatormoduls **120** deaktivieren, was auch für einen weiten Bereich der Drehmomentsteuerung sorgt, aber ebenso langsam sein kann und Fahrbarkeits- und Emissionsprobleme mit sich bringen kann. Das Betätigungsmodul **224** kann den Zündfunkenzeitpunkt als einen schnellen Aktuator verwenden. Der Zündfunkenzeitpunkt kann jedoch keinen so großen Bereich für die Drehmomentsteuerung liefern. Zusätzlich kann sich der Betrag der Drehmomentsteuerung ändern, der mit Änderungen in dem Zündfunkenzeitpunkt möglich ist (als Zündfunkenreserviekapazität bezeichnet), wenn sich die Luftströmung ändert.

[0074] Bei verschiedenen Implementierungen kann das Betätigungsmodul **224** eine Luftdrehmomentanforderung **265** basierend auf der angepassten vorausgesagten Drehmomentanforderung **263** erzeugen. Die Luftdrehmomentanforderung **265** kann der angepassten vorausgesagten Drehmomentanforderung **263** gleich sein und die Luftströmung derart einstellen, dass die angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung **263** durch Änderungen der anderen Motoraktuatoren erreicht werden kann.

[0075] Ein Luftsteuermodul **228** kann Soll-Aktuatorwerte basierend auf der Luftdrehmomentanforderung **265** ermitteln. Lediglich beispielhaft kann das Luftsteuermodul **228** einen Soll-Krümmerabsolutdruck (Soll-MAP) **266**, eine Soll-Drosselfläche **267** und/oder eine Soll-Luft pro Zylinder (Soll-APC) **268** basierend auf der Luftdrehmomentanforderung **265** ermitteln. Der Soll-MAP **266** kann verwendet werden, um einen Soll-Ladedruck zu ermitteln, und die Soll-APC **268** kann verwendet werden, um Soll-Nockenphasenstellerpositionen und die Soll-Drosselfläche **267** zu ermitteln. Bei verschiedenen Implementierungen kann das Luftsteuermodul **228** auch einen Betrag des Öffnens des AGR-Ventils **170** basierend auf der Luftdrehmomentanforderung **265** ermitteln.

[0076] Das Betätigungsmodul **224** kann auch eine Zündfunken-Drehmomentanforderung **269**, eine Zylinderabschalt-Drehmomentanforderung **270** und eine Kraftstoff-Drehmomentanforderung **271** erzeugen. Die Zündfunken-Drehmomentanforderung **269** kann von einem Zündfunkensteuermodul **232** verwendet werden, um zu ermitteln, wie viel der Zündfunkenzeitpunkt bezogen auf einen optimalen Zündfunkenzeitpunkt nach spät verstellt werden soll (was das Motorausgangsdrehmoment verringert).

[0077] Die Zylinderabschalt-Drehmomentanforderung **270** kann durch das Zylindersteuermodul **236** verwendet werden, um zu ermitteln, wie viele Zylinder deaktiviert werden sollen, wenn ein Betrieb in einem Kraftstoffwirtschaftlichkeitsmodus (FE-Modus) angefordert wird. Der FE-Modus kann lediglich beispielhaft einen Modus mit aktivem Kraftstoffmanagement (AFM-Modus) oder einen Hubraum auf Anforderung (DOD) umfassen.

[0078] Das Zylindersteuermodul **236** kann das Zylinder-Aktuatormodul **120** anweisen, einen oder mehrere Zylinder des Motors **102** zu deaktivieren, wenn der AFM-Modus angewiesen wird. Das Zylinder-Aktuatormodul **120** kann ein Hydrauliksystem umfassen, das Einlass- und/oder Auslassventile für einen oder mehrere Zylinder von den entsprechenden Nockenwellen selektiv abkoppelt, um diese Zylinder zu deaktivieren. Lediglich beispielhaft kann das Zylinder-Aktuatormodul **120** eine vordefinierte Gruppe der Zylinder (z.B. die Hälfte) gemeinsam deaktivieren, wenn der AFM-Modus angewiesen wird. Das Zylindersteuermodul **236** kann auch ein Kraftstoffsteuermodul **240** anweisen, die Kraftstofflieferung an die deaktivierte Zylinder zu stoppen, und es kann das Zündfunkensteuermodul **232** anweisen, die Lieferung des Zündfunkens an die deaktivierte Zylinder zu stoppen, wenn der AFM-Modus angewiesen wird. Das Zündfunkensteuermodul **232** stoppt die Lieferung des Zündfunkens für einen Zylinder, sobald ein Luft/Kraftstoffgemisch, das bereits in dem Zylinder vorhanden ist, verbrannt worden ist.

[0079] Einige Fahrzeuge können zusätzlich oder alternativ in der Lage sein, den Motor **102** in einem Kraftstoffabschaltmodus (FCO-Modus) zu betreiben. Lediglich beispielhaft kann der Betrieb in dem FCO-Modus während einer Fahrzeugverlangsamtung angewiesen werden. Der Betrieb in dem FCO-Modus, der gemäß einer Fahrzeugverlangsamtung angewiesen wird, kann als eine Verlangsamtungs-Kraftstoffabschaltung (DFCO) bezeichnet werden. Im Gegensatz zu dem AFM-Modus können einer oder mehrere Zylinder deaktiviert werden, indem die Zufuhr von Kraftstoff zu diesen Zylindern gestoppt wird, wenn der FCO-Modus angewiesen wird, ohne dass das Öffnen und Schließen der Einlass- und Auslassventile gestoppt wird.

[0080] Das Kraftstoffsteuermodul **240** kann basierend auf der Kraftstoff-Drehmomentanforderung **271** die Kraftstoffmenge variieren, die an jeden Zylinder geliefert wird. Während des normalen Betriebs eines Motors mit Funkenzündung kann das Kraftstoffsteuermodul **240** in einem luftgeführten Modus arbeiten, in dem das Kraftstoffsteuermodul **240** versucht, ein stöchiometrisches Luft/Kraftstoffverhältnis aufrechtzuerhalten, indem

die Kraftstoffzufuhr basierend auf der Luftströmung gesteuert wird. Das Kraftstoffsteuermodul **240** kann eine Kraftstoffmasse ermitteln, die eine stöchiometrische Verbrennung ergeben wird, wenn sie mit dem gegenwärtigen Betrag der Luft pro Zylinder kombiniert wird. Das Kraftstoffsteuermodul **240** kann das Kraftstoff-Aktuatormodul **124** mittels einer Kraftstoffzufuhrrate anweisen, diese Kraftstoffmasse für jeden aktivierten Zylinder einzuspritzen.

[0081] Bei Systemen mit Kompressionszündung kann das Kraftstoffsteuermodul 240 in einem kraftstoffgeführten Modus arbeiten, bei dem das Kraftstoffsteuermodul **240** eine Kraftstoffmasse für jeden Zylinder ermittelt, welche die Kraftstoff-Drehmomentanforderung **271** erfüllt, während die Emissionen, das Geräusch und der Kraftstoffverbrauch minimiert werden. In dem kraftstoffgeführten Modus wird die Luftströmung basierend auf der Kraftstoffströmung gesteuert, und sie kann gesteuert werden, um ein mageres Luft/Kraftstoffverhältnis zu ergeben. Zusätzlich kann das Luft/Kraftstoffverhältnis oberhalb eines vorbestimmten Niveaus gehalten werden, das bei dynamischen Motorbetriebsbedingungen die Erzeugung von schwarzem Rauch verhindern kann.

[0082] Ein Drehmomentschätzmodul **244** kann die Drehmomentabgabe des Motors **102** schätzen. Die erreichte Drehmomentabgabe des Motors **102** unter den gegenwärtigen Betriebsbedingungen kann als ein erreichtes Luftdrehmoment **272** bezeichnet werden. Das erreichte Luftdrehmoment 272 kann von dem Luftsteuermodul **228** verwendet werden, um eine Regelung eines oder mehrerer Motorluftströmungsparameter, wie z.B. der Drosselfläche, des MAP und der Phasenstellerpositionen, auszuführen. Beispielsweise kann eine APC-Drehmomentbeziehung **273** wie z.B.

$$T = f(APC, S, I, E, AF, OT, \#)$$

(1)

definiert werden, wobei das Drehmoment (T) das erreichte Luftdrehmoment **272** ist, und es ist eine Funktion der Luft pro Zylinder (APC), des Zündfunkenzeitpunkts (S), der Einlass-Nockenphasenstellerposition (I), der Auslass-Nockenphasenstellerposition (E), des Luft/Kraftstoffverhältnisses (AF), der Öltemperatur (OT) und der Anzahl der aktivierten Zylinder (#). Zusätzliche Variablen können berücksichtigt werden, wie z.B. der Öffnungsgrad eines Abgasrückführungsventils (AGR-Ventils). Die APC-Drehmomentbeziehung **273** kann durch eine Gleichung modelliert und/oder als eine Nachschlagetabelle gespeichert werden. Die verwendeten Einlass- und Auslass-Nockenphasenstellerpositionen können auf Ist-Positionen basieren, wenn sich die Phasensteller zu den Soll-Positionen bewegen können. Die Ist-Zündfunkenvorverstellung kann verwendet werden, um das erreichte Luftdrehmoment **272** zu schätzen.

[0083] Das Luftsteuermodul **228** kann die Soll-Drosselfläche **267** an das Drossel-Aktuatormodul **116** ausgeben. Das Drossel-Aktuatormodul **116** regelt dann das Drosselventil **112**, um die Soll-Drosselfläche **267** zu erzeugen. Das Luftsteuermodul **228** kann die Soll-Drosselfläche **267** basierend auf der Luftdrehmomentanforderung **265** erzeugen, wie nachstehend weiter diskutiert wird (siehe z.B. **Fig. 5**).

[0084] Das Luftsteuermodul **228** kann das Soll-MAP-Signal **266** an ein Ladedruck-Zeitplanungsmodul **248** ausgegeben. Das Ladedruck-Zeitplanungsmodul **248** verwendet das Soll-MAP-Signal **266**, um das Ladedruck-Aktuatormodul **164** zu steuern. Das Ladedruck-Aktuatormodul **164** steuert dann einen oder mehrere Turbolader (z.B. den Turbolader, der die Turbine **160-1** und den Kompressor **160-2** umfasst) und/oder Turbokompressoren.

[0085] Das Luftsteuermodul **228** kann die Soll-APC **268** an das Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252** ausgeben. Basierend auf der Soll-APC **268** und dem RPM-Signal kann das Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252** die Positionen des Einlass- und/oder des Auslass-Nockenphasenstellers **148** und **150** unter Verwendung des Phasensteller-Aktuatormoduls **158** steuern.

[0086] Wieder auf das Zündfunkensteuermodul **232** Bezug nehmend, kann der optimale Zündfunkenzeitpunkt basierend auf verschiedenen Motorbetriebsbedingungen variieren. Lediglich beispielhaft kann eine Drehmomentbeziehung invertiert werden, um diese nach der Soll-Zündfunkenvorverstellung aufzulösen. Für eine gegebene Drehmomentanforderung (T_{des}) kann die Soll-Zündfunkenvorverstellung (S_{des}) ermittelt werden basierend auf

$$S_{des} = T^{-1}(T_{des}, APC, I, E, AF, OT, \#).$$

(2)

[0087] Diese Beziehung kann durch eine Gleichung und/oder durch eine Nachschlagetabelle verkörpert werden. Das Luft/Kraftstoffverhältnis (AF) kann das Ist-Luft/Kraftstoffverhältnis sein, wie es von dem Kraftstoffsteuermodul **240** angegeben wird.

[0088] Wenn die Zündfunkenvorverstellung auf den optimalen Zündfunkenzzeitpunkt eingestellt wird, kann das resultierende Drehmoment so nahe wie möglich bei einem mittleren Bestdrehmoment (MBT) liegen. Das MBT bezieht sich auf das maximale Motorausgangsdrehmoment, das für eine gegebene Luftströmung erzeugt wird, wenn die Zündfunkenvorverstellung erhöht wird, während Kraftstoff mit einer Oktanzahl größer als eine vorbestimmte Oktanzahl und eine stöchiometrische Kraftstoffzufuhr verwendet werden. Die Zündfunkenvorverstellung, bei der dieses maximale Drehmoment auftritt, wird als ein MBT-Zündfunkenzzeitpunkt bezeichnet. Der optimale Zündfunkenzzeitpunkt kann sich beispielsweise aufgrund der Kraftstoffqualität (wenn beispielsweise Kraftstoff mit geringerer Oktanzahl verwendet wird) und aufgrund von Umweltfaktoren von dem MBT-Zündfunkenzzeitpunkt leicht unterscheiden. Die Motorausgangsdrehmoment bei dem optimalen Zündfunkenzzeitpunkt kann daher kleiner als das MBT sein.

[0089] Die beispielhafte Implementierung des ECM **114** umfasst auch ein Maximaldrehmoment-Ermittlungsmodul **280** (siehe auch **Fig. 3**), ein Korrekturmodul **282** (siehe auch **Fig. 6**) und ein Steuermodul **284** für einen Kraftstoffwirtschaftlichkeitsmodus (FE-Modus) (siehe auch **Fig. 4**).

[0090] Das Maximaldrehmoment-Ermittlungsmodul **280** ermittelt ein maximales Bremsmoment für den Betrieb in einem FE-Modus (ein maximales FE-Bremsmoment) **286**. Das maximale FE-Bremsmoment **286** entspricht einem maximalen Motorausgangsdrehmoment (einem maximalen Schwungraddrehmoment) für den Betrieb in dem FE-Modus. Wenn in dem FE-Modus gearbeitet wird, ist die Fähigkeit des Motors **102** zur Drehmomenterzeugung begrenzt, die FE des Fahrzeugs wird jedoch verbessert.

[0091] Lediglich beispielhaft kann der FE-Modus ein Modus mit aktivem Kraftstoffmanagement (AFM-Modus) in einem Fahrzeug sein, das in der Lage ist, eine selektive Zylinderdeaktivierung oder einen Modus mit niedrigem Hub in einem Fahrzeug auszuführen, das in der Lage ist, einen variablen Ventilhub (VVL) auszuführen. Der Betrieb in dem AFM-Modus kann umfassen, dass eine vorbestimmte Anzahl (z.B. die Hälfte) der Zylinder des Motors **102** deaktiviert wird. Der Betrieb in dem Modus mit niedrigem Hub kann umfassen, dass die Einlass- und/oder die Auslassventile **122** und **130** für eine kürzere Zeitspanne (auch als eine Dauer bezeichnet) und/oder in einem geringeren Ausmaß (als Hub bezeichnet) geöffnet werden.

[0092] Das Maximaldrehmoment-Ermittlungsmodul **280** ermittelt das maximale FE-Bremsmoment **286** unter Verwendung einer Beziehung **287** zwischen dem MAP und dem Drehmoment. Die MAP-Drehmomentbeziehung **287** kann durch eine Gleichung modelliert und/oder als eine Nachschlagetabelle gespeichert werden. Beispielsweise kann die MAP-Drehmomentbeziehung **287** lauten

$$T = f(MAP, S, I, E, AF, OT, \#, RPM)$$

(3)

wobei das Drehmoment (T) das maximale FE-Bremsmoment **286** ist, und es ist eine Funktion des Krümmerabsolutdrucks (MAP) des Zündfunkenzzeitpunkts (S), der Einlass-Nockenphasenstellerposition (I), der Auslass-Nockenphasenstellerposition (E), des Luft/Kraftstoffverhältnisses (AF), der Öltemperatur (OT), der Anzahl von aktivierte Zylindern (#) und der Motordrehzahl (RPM). Zusätzliche Variablen können ebenso berücksichtigt werden, wie beispielsweise der Öffnungsgrad eines Abgasrückführungsventils (AGR-Ventils).

[0093] Das Maximaldrehmoment-Ermittlungsmodul **280** ermittelt einen maximalen Soll-MAP für den Betrieb in dem FE-Modus (einen maximalen Soll-FE-MAP). Der MAP, der in der MAP-Drehmomentbeziehung **287** verwendet wird, kann der maximale Soll-FE-MAP sein. Die Drehmomente, die unter Verwendung der APC-Drehmomentbeziehung **273** bzw. unter Verwendung der MAP-Drehmomentbeziehung **287** ermittelt werden, können jedoch unter bestimmten Umständen verschieden sein. Das Maximaldrehmoment-Ermittlungsmodul **280** passt das maximale FE-Bremsmoment **286** basierend auf einer MAP-Drehmomentkorrektur **288** selektiv an, die durch das Korrekturmodul **282** geliefert werden kann. Das Maximaldrehmoment-Ermittlungsmodul **280** kann die MAP-Drehmomentbeziehung **287** basierend auf der MAP-Drehmomentkorrektur **288** derart korrigieren, dass ein Bremsmoment, das basierend auf dem MAP ermittelt wird, dasselbe wie ein Bremsmoment sein wird, das basierend auf der APC unter Verwendung der APC-Drehmomentbeziehung **273** ermittelt wird.

[0094] Der maximale Soll-FE-MAP ist ein MAP, der einem minimalen Soll-Unterdruck für einen Betrieb in dem FE-Modus entspricht (einem minimalen Soll-FE-Unterdruck). Das Maximaldrehmoment-Ermittlungsmodul **280** wandelt den maximalen Soll-FE-MAP unter Verwendung einer MAP-APC-Beziehung 289 in eine maximale Soll-APC für den Betrieb in dem FE-Modus um (in eine maximale Soll-FE-APC).

[0095] Eine APC, die durch eine Umwandlung eines MAP in die APC unter Verwendung der MAP-APC-Beziehung 289 ermittelt wird, kann jedoch von einer Ist-APC verschieden sein, während bei dem maximalen Soll-FE-MAP gearbeitet wird. Dementsprechend passt das Maximaldrehmoment-Ermittlungsmodul **280** die maximale Soll-FE-APC basierend auf einer MAP-APC-Korrektur **290** an, die durch das Korrekturmودul **282** geliefert werden kann.

[0096] Das Steuermodul **284** für den FE-Modus ermittelt ein maximales Geräusch-, Vibrations- und Rauheitsdrehmoment (NVH-Drehmoment) für den Betrieb in dem FE-Modus (ein maximales NVH-Drehmoment). Das maximale NVH-Drehmoment entspricht einem maximalen Motorausgangsdrehmoment während des Betriebs in dem FE-Modus, oberhalb dessen mehr als ein vorbestimmtes NVH-Niveau in einem Fahrgastraum des Fahrzeugs wahrgenommen werden kann.

[0097] Das Steuermodul **284** für den FE-Modus setzt ein maximales Drehmoment für den FE-Modus (ein maximales FE-Drehmoment) **291** gleich einem kleineren von dem maximalen FE-Bremsmoment **286** und dem maximalen NVH-Drehmoment. Das Steuermodul **284** für den FE-Modus löst basierend auf dem maximalen FE-Drehmoment **291** selektiv den Einstieg in den FE-Modus (wenn nicht in dem FE-Modus gearbeitet wird) und den Ausstieg aus dem FE-Modus aus (wenn in dem FE-Modus gearbeitet wird). Das Steuermodul **284** für den FE-Modus erzeugt ein FE-Modussignal **292**, das angibt, ob der Motor **102** in dem FE-Modus betrieben werden soll.

[0098] Das Steuermodul **284** für den FE-Modus liefert das maximale FE-Drehmoment **291** und das FE-Modussignal **292** an das Luftsteuermodul **228**. Das Luftsteuermodul **228** begrenzt die Luftpumendrehmomentanforderung **265** auf das maximale FE-Drehmoment **291**, wenn das FE-Modussignal **292** angibt, dass der Motor **102** in dem FE-Modus gesteuert werden sollte. Das Luftsteuermodul **228** ermittelt den Soll-MAP **266**, die Soll-Drosselfläche **267** und die Soll-APC **268** basierend auf der Luftpumendrehmomentanforderung **265**.

[0099] Nun auf **Fig. 3** Bezug nehmend, ist ein Funktionsblockdiagramm einer beispielhaften Implementierung des Maximaldrehmoment-Ermittlungsmoduls **280** dargestellt. Die beispielhafte Implementierung des Maximaldrehmoment-Ermittlungsmoduls **280** umfasst ein Modul **302** für einen maximalen Soll-FE-MAP, ein MAP-APC-Modul **310** und ein MAP-Korrekturmودul **312**. Die beispielhafte Implementierung des Maximaldrehmoment-Ermittlungsmoduls **280** umfasst auch ein Modul **314** zur Ermittlung eines optimalen Zündfunkens, ein MAP-Drehmomentmodul **318** und ein Bremsmomentmodul **322**.

[0100] Das Modul **302** für den maximalen Soll-FE-MAP ermittelt einen maximalen Soll-MAP für den Betrieb in dem FE-Modus (einen maximalen Soll-FE-MAP) **340** basierend auf einem minimalen Soll-FE-Unterdruck **342** und einem Vor-Drosseldruck **344**. Spezieller setzt das Modul **302** für den maximalen Soll-FE-MAP den maximalen Soll-FE-MAP **340** gleich dem Vor-Drosseldruck **344** minus dem minimalen Soll-FE-Unterdruck **342**.

[0101] Der Vor-Drosseldruck **344** kann unter Verwendung eines Vor-Drosseldrucksensors (nicht gezeigt) gemessen werden oder basierend auf einem oder mehreren anderen Drücken ermittelt werden, wie beispielsweise dem MAP, der durch den MAP-Sensor **184** vor dem Motorstart gemessen wird. Der minimale Soll-FE-Unterdruck **342** entspricht einem minimalen Unterdruck in dem Einlasskrümmer **110** während des Betriebs in dem FE-Modus. Der minimale Soll-FE-Unterdruck **342** kann bei verschiedenen Implementierungen basierend auf der RPM **346** ermittelt werden, die durch den RPM-Sensor **180** gemessen wird.

[0102] Alternativ oder zusätzlich kann der minimale Soll-FE-Unterdruck **342** ein kalibrierter Wert sein, der eine oder mehrere Eigenschaften optimiert. Die Eigenschaften können beispielsweise umfassen, dass eine Umkehrung minimiert wird, dass verhindert wird, dass der durch den MAP-Sensor **184** gemessene MAP den Umgebungsluftdruck erreicht, dass das Drosselventil **112** bis zu einem Ausmaß geschlossen bleibt und dass eine stabile Steuerung des Drosselventils **112** aufrecht gehalten wird.

[0103] Die Umkehrung bezieht sich auf Fälle, in denen Luft aus dem Einlasskrümmer **110** in Richtung des MAF-Sensors **186** strömt. Das Herausströmen von Luft kann bewirken, dass der MAF-Sensor **186** die MAF in den Motor **102** nicht korrekt misst. Der durch den MAP-Sensor **184** gemessene MAP kann bis zu einem bestimmten Ausmaß ungenau sein, wenn der MAP innerhalb eines vorbestimmten Betrages (z.B. 4 Kilopascal)

um den Umgebungsdruck liegt. Das Verhindern, dass der MAP zu dem vorbestimmten Wert um den Umgebungsdruck gelangt, kann sicherstellen, dass der MAP genau bleibt. Ein Einleitungsgeräusch (z.B. von dem Öffnen und Schließen der Ventile) kann am lautesten sein, wenn das Drosselventil **112** vollständig offen ist. Wenn das Drosselventil **112** bis zu einem bestimmten Ausmaß geschlossen gehalten wird, wird die Größe des Einleitungsgeräusches verringert. Die Steuerung des Drosselvents **112** kann in der Nähe einer vollständig geschlossenen Drosselöffnung und einer vollständig offenen Drosselöffnung grob sein. Wenn verhindert wird, dass das Drosselventil **112** vollständig geschlossen oder vollständig offen ist, wird die Stabilität der Steuerung des Drosselvents **112** erhöht.

[0104] Das MAP-APC-Modul **310** wandelt den maximalen Soll-FE-MAP **340** unter Verwendung der MAP-APC-Beziehung **289** in eine maximale Soll-FE-APC **350** um. Die maximale Soll-FE-APC **350** entspricht einer maximalen APC für den Betrieb in dem FE-Modus.

[0105] Das MAP-Korrekturmodul **312** ermittelt eine korrigierte maximale FE-APC (korrigierte Maximal-FE-APC) **351** basierend auf der maximalen Soll-FE-APC **350** und der MAP-APC-Korrektur **290**. Spezieller korrigiert das MAP-Korrekturmodul **312** die maximale Soll-FE-APC **350** basierend auf der MAP-APC-Korrektur **290**, um eine Differenz zwischen einer Ist-APC und einer APC zu berücksichtigen, die durch Umwandeln eines MAP in die APC unter Verwendung der MAP-APC-Beziehung **289** ermittelt wird. Das MAP-Korrekturmodul **312** kann die korrigierte maximale FE-APC **351** gleich einer Summe der maximalen Soll-FE-APC **350** und der MAP-APC-Korrektur **290** setzen.

[0106] Das Modul **314** zur Ermittlung des optimalen Zündfunkens ermittelt den optimalen Zündfunkenzeitpunkt (den optimalen Zündfunken) **352** basierend auf der korrigierten maximalen FE-APC **351**. Lediglich beispielhaft kann das Modul **314** zur Ermittlung des optimalen Zündfunkens den optimalen Zündfunkenzeitpunkt **352** basierend auf der korrigierten maximalen FE-APC **351** und einer Tabelle von optimalen Zündfunkenzeitpunkten ermitteln, die durch die APC und die RPM **346** indiziert ist.

[0107] Das MAP-Drehmomentmodul **318** ermittelt einen maximalen Basis-Drehmomentbetrag für den Betrieb in dem FE-Modus (ein maximales FE-Basisdrehmoment) **354** basierend auf dem maximalen Soll-FE-MAP **340** und dem optimalen Zündfunkenzeitpunkt **352**. Das MAP-Drehmomentmodul **318** ermittelt das maximale FE-Basisdrehmoment **354** ferner basierend auf der RPM **346** und der MAP-Drehmomentkorrektur **288**.

[0108] Lediglich beispielhaft kann das MAP-Drehmomentmodul **318** ein unkorrigiertes maximales FE-Basisdrehmoment (nicht gezeigt) basierend auf dem maximalen Soll-FE-MAP **340** ermitteln. Spezieller kann das MAP-Drehmomentmodul **318** den maximalen Soll-FE-MAP **340** basierend auf der MAP-Drehmomentbeziehung **287**, der RPM **346**, dem optimalen Zündfunkenzeitpunkt **352** sowie der Einlass- und der Auslass-Nockenwellenphasenstellerposition, bei denen ein maximales Motorausgangsdrehmoment erzeugt wird, in das unkorrigierte maximale FE-Basisdrehmoment umwandeln. Lediglich beispielhaft kann das MAP-Drehmomentmodul **318** den maximalen Soll-FE-MAP **340** unter Verwendung der Beziehung (3), die vorstehend beschrieben ist, in das unkorrigierte maximale FE-Basisdrehmoment umwandeln.

[0109] Das MAP-Drehmomentmodul **318** kann das unkorrigierte maximale FE-Basisdrehmoment anschließend basierend auf der MAP-Drehmomentkorrektur **288** korrigieren, um eine Differenz zwischen einem ersten Drehmoment, das unter Verwendung der MAP-Drehmomentbeziehung **287** ermittelt wird, und einem zweiten Drehmoment, das unter Verwendung der APC-Drehmomentbeziehung **273** ermittelt wird, zu berücksichtigen. Lediglich beispielhaft kann das MAP-Drehmomentmodul **318** das maximale FE-Basisdrehmoment **354** gleich einer Summe des unkorrigierten maximalen FE-Basisdrehmoments und der MAP-Drehmomentkorrektur **288** setzen.

[0110] Ein Basisdrehmoment bezieht sich auf ein Motorausgangsdrehmoment, das erzeugt wird, wenn der Motor **102** an einer Testeinrichtung (z.B. einem Dynamometer) mit dem warmen Motor **102** und ohne Nebenaggregatlasten betrieben wird, wie beispielsweise einer Lichtmaschine und einer Klimaanlage. Das Bremsmomentmodul **322** wandelt das maximale FE-Basisdrehmoment **354** in das maximale FE-Bremsmoment **286** um. Ein Bremsmoment bezieht sich auf ein Basisdrehmoment minus der Reibungsverluste des Motors **102**. Mit anderen Worten kann ein Bremsmoment, das einem Basisdrehmoment entspricht, ermittelt werden, indem die Reibungsverluste von dem Basisdrehmoment subtrahiert werden. Bei verschiedenen Implementierungen kann das MAP-Drehmomentmodul **318** den maximalen Soll-FE-MAP **340** direkt in das maximale FE-Bremsmoment **286** umwandeln, während die MAP-Drehmomentkorrektur **288** berücksichtigt wird. Bei verschiedenen Implementierungen kann das MAP-Drehmomentmodul **318** den maximalen Soll-FE-MAP **340** in ein indiziertes Drehmoment umwandeln (in ein Drehmoment, das durch Verbrennungereignisse erzeugt wird), das indizierte

Drehmoment mit der MAP-Drehmomentkorrektur **288** korrigieren und von dem korrigierten indizierten Drehmoment in das maximale FE-Bremsmoment **286** umwandeln.

[0111] Nun auf **Fig. 4** Bezug nehmend, ist ein Funktionsblockdiagramm einer beispielhaften Implementierung des Steuermoduls **284** für den FE-Modus dargestellt. Die beispielhafte Implementierung des Steuermoduls **284** für den FE-Modus umfasst ein Modul **402** zur Ermittlung eines NVH-Drehmoments, ein Modul **406** für ein maximales Drehmoment in dem FE-Modus, ein Modul **410** zur Ermittlung eines Schwellenwerts bzw. von Schwellenwerten, ein Aktivierungs-/Deaktivierungsmodul **414** für den FE-Modus und ein Filtermodul **418**.

[0112] Das Modul **402** zur Ermittlung des NVH-Drehmoments ermittelt das maximale NVH-Drehmoment (Maximal-NVH-Drehmoment) **430** basierend auf der RPM **346**, die unter Verwendung des RPM-Sensors **180** gemessen wird, einem Übersetzungsverhältnis **432** und einer Umgebungslufttemperatur **434**. Das maximale NVH-Drehmoment **430** entspricht einem Motorausgangsdrehmoment während des Betriebs in dem FE-Modus, oberhalb dessen mehr als das vorbestimmte NVH-Niveau in dem Fahrgastraum des Fahrzeugs wahrgenommen werden kann.

[0113] Das Modul **402** zur Ermittlung des NVH-Drehmoments kann das maximale NVH-Drehmoment **430** basierend auf der RPM **346** ermitteln, da die Zündungsdauer (d.h. die Dauer zwischen aufeinander folgenden Zündungereignissen in der Zündreihenfolge) das NVH-Niveau beeinflussen kann, das in dem Fahrgastraum wahrgenommen wird. Das Modul **402** zur Ermittlung des NVH-Drehmoments kann das maximale NVH-Drehmoment **430** basierend auf dem Übersetzungsverhältnis **432** ermitteln, da das Verhältnis zwischen der Kurzelwellendrehzahl und der Achsendrehzahl (z.B. der Raddrehzahl) das NVH-Niveau beeinflussen kann, das in dem Fahrgastraum wahrgenommen wird. Das Modul **402** zur Ermittlung des NVH-Drehmoments kann das maximale NVH-Drehmoment **430** basierend auf der Umgebungslufttemperatur **434** ermitteln, da die Umgebungslufttemperatur **434** die Dämpfungsfähigkeit von Motordämpfern (nicht gezeigt) beeinflussen kann. Lediglich beispielhaft können die Motordämpfer verstehen, wenn die Umgebungslufttemperatur **434** abnimmt, und das NVH-Niveau, das in dem Fahrgastraum wahrgenommen wird, kann zunehmen, wenn die Motordämpfer verstehen.

[0114] Das Modul **406** für das maximale Drehmoment in dem FE-Modus ermittelt das maximale FE-Drehmoment **291** basierend auf dem maximalen NVH-Drehmoment **430** und dem maximalen FE-Bremsmoment **286**. Spezieller setzt das Modul **406** für das maximale Drehmoment in dem FE-Modus das maximale FE-Drehmoment **291** gleich einem kleineren von dem maximalen FE-Bremsmoment **286** und dem maximalen NVH-Drehmoment **430**.

[0115] Das Modul **406** für das maximale Drehmoment in dem FE-Modus gibt das maximale FE-Drehmoment **291** an das Luftsteuermodul **228** aus. Das Luftsteuermodul **228** begrenzt die Luftpumpermomentanforderung **265** während des Betriebs in dem FE-Modus auf das maximale FE-Drehmoment **291**.

[0116] Das Modul **406** für das maximale Drehmoment in dem FE-Modus liefert das maximale FE-Drehmoment **291** auch an das Modul **410** zur Ermittlung des Schwellenwerts bzw. der Schwellenwerte. Das Modul **410** zur Ermittlung des Schwellenwerts bzw. der Schwellenwerte ermittelt einen oder mehrere Schwellenwerte **436** basierend auf dem maximalen FE-Drehmoment **291**.

[0117] Lediglich beispielhaft kann das Modul **410** zur Ermittlung des Schwellenwerts bzw. der Schwellenwerte zwei Schwellenwerte **436** zum Aussteigen aus dem Betrieb in den FE-Modus ermitteln (d.h. für dessen Deaktivierung). Die zwei Schwellenwerte **436** können als ein Schwellenwert für einen schnellen Ausstieg und einen Schwellenwert für einen langsamen Ausstieg bezeichnet werden. Das Modul **410** zur Ermittlung des Schwellenwerts bzw. der Schwellenwerte kann den Schwellenwert für den schnellen Ausstieg gleich einer Summe des maximalen FE-Drehmoments **291** und eines ersten Offsets setzen. Der erste Offset kann basierend auf dem Übersetzungsverhältnis **432** und der RPM **346** kalibrierbar sein.

[0118] Das Modul **410** zur Ermittlung des Schwellenwerts bzw. der Schwellenwerte kann den Schwellenwert für den langsamen Ausstieg gleich einer zweiten Summe des maximalen FE-Drehmoments **291** und eines zweiten Offsets setzen. Der zweite Offset kann kalibrierbar sein, und er kann ebenso basierend auf dem Übersetzungsverhältnis **432** und der RPM **346** ermittelt werden. Der zweite Offset ist kleiner als der erste Offset. Unter einem gegebenen Satz von Betriebsbedingungen kann der erste Offset lediglich beispielhaft ungefähr 100 Newtonmeter (Nm) betragen, während der zweite Offset ungefähr 20 Nm betragen kann. Der erste und der zweite Offset entsprechen einem maximalen Verlust an Motorausgangsdrehmoment, der während des Betriebs in dem FE-Modus im Interesse einer verbesserten FE akzeptierbar ist.

[0119] Das Modul **410** zur Ermittlung des Schwellenwerts bzw. der Schwellenwerte kann einen anderen der Schwellenwerte **436** für einen Einstieg und einen Betrieb in dem FE-Modus ermitteln. Dieser Schwellenwert kann als ein Einstiegsschwellenwert bezeichnet werden. Lediglich beispielhaft kann das Modul **410** für die Ermittlung des Schwellenwerts bzw. der Schwellenwerte den Einstiegsschwellenwert gleich einer dritten Summe des maximalen FE-Drehmoments **291** und eines dritten Offsets setzen. Der dritte Offset kann kalibrierbar sein, und er ist kleiner als der zweite Offset. Der Betrag, um den der dritte Offset kleiner als der zweite Offset ist, kann kalibriert werden, um für eine Hysterese zu sorgen. Lediglich beispielhaft kann der dritte Offset dann, wenn der zweite Offset **0 Nm** beträgt, auf ungefähr -40 Nm festgelegt werden.

[0120] Nun auf **Fig. 7** Bezug nehmend, ist eine beispielhafte Graphik eines Drehmoments **456** über der Zeit **458** dargestellt. Unter weiterer Bezugnahme auf **Fig. 4** folgt die beispielhafte Kurve **460** dem maximalen FE-Drehmoment **291** unter stationären Betriebsbedingungen. Die beispielhafte Kurve **464** folgt beispielsweise dem Schwellenwert für den langsamten Ausstieg oder dem Schwellenwert für den schnellen Ausstieg, die basierend auf dem maximalen FE-Drehmoment **291** unter stationären Betriebsbedingungen ermittelt werden. Die beispielhafte Kurve **468** kann beispielsweise der Fahrerdrehmomentanforderung **254** folgen.

[0121] Wieder auf **Fig. 4** Bezug nehmend, erzeugt das Aktivierungs-/Deaktivierungsmodul **414** für den FE-Modus das FE-Modussignal **292**, um den Betrieb in dem FE-Modus zu aktivieren und zu deaktivieren. Lediglich beispielhaft kann das Aktivierungs-/Deaktivierungsmodul **414** für den FE-Modus das FE-Modussignal **292** auf einen aktiven Zustand setzen (z.B. auf 5 Volt), um den Betrieb in dem FE-Modus auszulösen. Das Aktivierungs-/Deaktivierungsmodul **414** für den FE-Modus kann das FE-Modussignal **292** auf einen inaktiven Zustand setzen (z.B. auf 0 Volt), um den Betrieb in einem anderen Modus als dem FE-Modus auszulösen.

[0122] Das Aktivierungs-/Deaktivierungsmodul **414** für den FE-Modus erzeugt das FE-Modussignal **292** basierend auf dem Zustand des FE-Modussignals **292** und einem oder mehreren der Schwellenwerte **436**. Wenn sich das FE-Modussignal **292** in dem inaktiven Zustand befindet (d.h. wenn der FE-Modus deaktiviert ist), leitet das Aktivierungs-/Deaktivierungsmodul **414** für den FE-Modus das FE-Modussignal **292** basierend auf einem Vergleich der angepassten vorausgesagten Drehmomentanforderung **263** mit dem Einstiegsschwellenwert selektiv in den aktiven Zustand über. Lediglich beispielhaft leitet das Aktivierungs-/ Deaktivierungsmodul **414** für den FE-Modus das FE-Modussignal **292** in den aktiven Zustand über, wenn die angepassten vorausgesagte Drehmomentanforderung **263** kleiner als der Einstiegsschwellenwert ist. Das Aktivierungs-/Deaktivierungsmodul **414** für den FE-Modus kann zusätzlich erfordern, dass die angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung **263** für eine vorbestimmte Dauer kleiner als der Einstiegsschwellenwert ist, bevor das FE-Modussignal **292** in den aktiven Zustand übergeleitet wird.

[0123] Wenn sich das FE-Modussignal **292** in dem aktiven Zustand befindet (d.h. während des Betriebs in dem FE-Modus), leitet das Aktivierungs-/Deaktivierungsmodul **414** für den FE-Modus das FE-Modussignal **292** basierend auf dem Schwellenwert für den schnellen Ausstieg und dem Schwellenwert für den langsamten Ausstieg selektiv in den inaktiven Zustand über. Lediglich beispielhaft kann das Aktivierungs-/Deaktivierungsmodul **414** für den FE-Modus das FE-Modussignal **292** in den inaktiven Zustand überleiten, wenn die angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung **263** größer als der Schwellenwert für den schnellen Ausstieg ist. Das Aktivierungs-/Deaktivierungsmodul **414** für den FE-Modus kann das FE-Modussignal **292** auch in den inaktiven Zustand überleiten, wenn eine gefilterte Version der angepassten vorausgesagten Drehmomentanforderung **263** größer als der Schwellenwert für den langsamten Ausstieg ist. Die gefilterte Version der angepassten vorausgesagten Drehmomentanforderung **263** kann als eine gefilterte angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung **438** bezeichnet werden. In dem Beispiel von **Fig. 7** leitet das Aktivierungs-/Deaktivierungsmodul **414** für den FE-Modus das FE-Modussignal **292** ungefähr zu der Zeit **472** in den inaktiven Zustand über.

[0124] Das Filtermodul **418** filtert die angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung **263** und erzeugt die gefilterte angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung **438**. Das Filtermodul **418** kann die angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung **263** beispielsweise unter Verwendung eines Verzögerungsfilters erster Ordnung filtern. Ein Filterkoeffizient, der bei dem Filtern der angepassten vorausgesagten Drehmomentanforderung **263** verwendet wird, kann variabel sein.

[0125] Das Filtermodul **418** kann den Filterkoeffizienten basierend darauf anpassen, ob die angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung **263** zunimmt oder abnimmt. Spezieller kann das Filtermodul **418** den Filterkoeffizienten verringern, wenn die angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung **263** zunimmt, und den Filterkoeffizienten erhöhen, wenn die angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung **263** abnimmt. Das Erhöhen und Verringern des Filterkoeffizienten, wenn die angepasste vorausgesagte Drehmomentanfor-

derung **263** abnimmt bzw. zunimmt, kann das Aktivierungs-/Deaktivierungsmodul **414** so lange wie möglich in Richtung des Betriebs in dem FE-Modus ausrichten, bevor der Betrieb in dem FE-Modus deaktiviert wird.

[0126] Nun auf **Fig. 5** Bezug nehmend, ist ein Funktionsblockdiagramm einer beispielhaften Implementierung des Luftsteuermoduls **228** dargestellt. Die beispielhafte Implementierung des Luftsteuermoduls **228** umfasst ein Begrenzungsmodul **502**, ein Regelungsmodul **510**, ein Korrekturmodul **514** und ein Basisdrehmomentmodul **516**. Die beispielhafte Implementierung des Luftsteuermoduls **228** umfasst auch ein Soll-MAP-Modul **518**, ein Soll-APC-Modul **522**, ein Soll-Luftströmungsmodul **530** und ein Soll-Flächenmodul **534**.

[0127] Das Begrenzungsmodul **502** empfängt die Luftdrehmomentanforderung **265** und das maximale FE-Drehmoment **291**. Das Begrenzungsmodul **502** begrenzt die Luftdrehmomentanforderung **265** auf das maximale FE-Drehmoment **291**, wenn sich das FE-Modussignal **292** in dem aktiven Zustand befindet. Das Begrenzungsmodul **502** gibt die selektiv begrenzte Version der Luftdrehmomentanforderung **265** aus, die als eine anfängliche Luftdrehmomentanforderung **540** bezeichnet wird.

[0128] Das Regelungsmodul **510** empfängt die anfängliche Luftdrehmomentanforderung **540** und das erreichte Luftdrehmoment **272**. Das Regelungsmodul **510** ermittelt eine Regelungs-Drehmomentkorrektur **544** basierend auf einer Differenz zwischen der anfänglichen Luftdrehmomentanforderung **540** und dem erreichten Luftdrehmoment **272**.

[0129] Das Korrekturmodul **514** ermittelt eine korrigierte Luftdrehmomentanforderung **546** basierend auf der anfänglichen Luftdrehmomentanforderung **540** und der Regelungs-Drehmomentkorrektur **544**. Spezieller kann das Korrekturmodul **514** die korrigierte Luftdrehmomentanforderung **546** gleich einer Summe der anfänglichen Luftdrehmomentanforderung **540** und der Regelungs-Drehmomentkorrektur **544** setzen.

[0130] Das Basisdrehmomentmodul **516** wandelt die korrigierte Luftdrehmomentanforderung **546** in eine Basis-Luftdrehmomentanforderung **547** um. Das Basisdrehmomentmodul **516** kann die korrigierte Luftdrehmomentanforderung **546** in die Basis-Luftdrehmomentanforderung **547** umwandeln, in dem beispielsweise die Reibungsverluste des Motors **102** zu der korrigierten Luftdrehmomentanforderung **546** addiert werden.

[0131] Das Soll-MAP-Modul **518** ermittelt den Soll-MAP **266** basierend auf der Basis-Luftdrehmomentanforderung **547** und einer Inversen der MAP-Drehmomentbeziehung **287**. Das Soll-MAP-Modul **518** ermittelt den Soll-MAP **266** ferner basierend auf dem optimalen Zündfunkenzeitpunkt **352** und der RPM **346**. Lediglich beispielhaft kann das Soll-MAP-Modul **518** den Soll-MAP **266** unter Verwendung der Beziehung ermitteln:

$$\text{MAP}_{\text{des}} = T^{-1}(T_{\text{des}}, I, E, AF, OT, \#, RPM, S) \quad (4)$$

wobei MAP_{des} der Soll-MAP **266** ist, T^{-1} die Verwendung einer Inversen der MAP-Drehmomentbeziehung **287** bezeichnet, T_{des} die Basis-Luftdrehmomentanforderung **547** ist, S der optimale Zündfunkenzeitpunkt **352** ist, RPM die RPM **346** ist, I und E die Einlass- bzw. die Auslass-Nockenphasenstellerposition ist, AF das Luft/Kraftstoffverhältnis ist, OT die Öltemperatur ist und $\#$ die Anzahl von aktivierten Zylindern ist. Zusätzliche Variablen können ebenso berücksichtigt werden, wie beispielsweise der Öffnungsgrad eines Abgasrückführungsventils (AGR-Ventils). Diese Beziehung kann durch eine Gleichung und/oder durch eine Nachschlagetabelle verkörpert werden. Das Luft/Kraftstoffverhältnis (AF) kann das Ist-Luft/Kraftstoffverhältnis sein, wie es durch das Kraftstoffsteuermodul **240** angegeben wird.

[0132] Das Soll-APC-Modul **522** ermittelt die Soll-APC **268** basierend auf der Basis-Luftdrehmomentanforderung **547** und einer Inversen der APC-Drehmomentbeziehung **273**. Das Soll-APC-Modul **522** ermittelt die Soll-APC **268** ferner basierend auf dem optimalen Zündfunkenzeitpunkt **352** und der RPM **346**. Lediglich beispielhaft kann das Soll-APC-Modul **522** die Soll-APC **268** unter Verwendung der Beziehung ermitteln:

$$\text{APC}_{\text{des}} = T^{-1}(T_{\text{des}}, I, E, AF, OT, \#, RPM, S) \quad (5)$$

wobei APC_{des} die Soll-APC **268** ist, T^{-1} die Verwendung einer Inversen der APC-Drehmomentbeziehung **273** bezeichnet, T_{des} die Basis-Luftdrehmomentanforderung **547** ist, S der optimale Zündfunkenzeitpunkt **352** ist,

RPM die RPM **346**, I und E die Einlass- bzw. die Auslassphasenstellerposition ist, AF das Luft/Kraftstoffverhältnis ist, OT die Öltemperatur ist und # die Anzahl der aktivierten Zylinder ist. Zusätzliche Variablen können ebenso berücksichtigt werden, wie beispielsweise der Öffnungsgrad eines Abgasrückführungsventils (AGR-Ventils). Diese Beziehung kann durch eine Gleichung und/oder durch eine Nachschlagetabelle verkörpert werden. Das Luft/Kraftstoffverhältnis (A/F) kann das Ist-Luft/Kraftstoffverhältnis sein, wie es durch das Kraftstoffsteuermodul **240** angegeben wird.

[0133] Das Soll-Luftströmungsmodul **530** ermittelt eine Soll-Luftströmung **550** basierend auf der Soll-APC **268** und der RPM **346**. Spezieller ermittelt das Soll-Luftströmungsmodul **530** die Soll-Luftströmung **550** basierend auf der Soll-APC **268** und der Zündungsdauer. Lediglich beispielhaft kann das Soll-Luftströmungsmodul **530** die Soll-Luftströmung **550** gleich dem Quotienten der Soll-APC **268** dividiert durch die Zündungsdauer setzen. Das Soll-Flächenmodul **534** ermittelt die Soll-Drosselfläche **267** basierend auf der Soll-Luftströmung und dem Soll-MAP **266**.

[0134] Nun auf **Fig. 6** Bezug nehmend, ist ein Funktionsblockdiagramm einer beispielhaften Implementierung des Korrekturmoduls **282** dargestellt. Die beispielhafte Implementierung des Korrekturmoduls **282** umfasst ein APC-Schätzmodul **602**, ein Ist-APC-Modul **606** und ein Modul **610** zur Ermittlung einer APC-Korrektur. Die beispielhafte Implementierung des Korrekturmoduls **282** umfasst auch ein Modul **614** zur Ermittlung eines APC-Drehmoments, ein Modul **618** zur Ermittlung eines MAP-Drehmoments und ein Modul **622** zur Ermittlung einer MAP-Korrektur.

[0135] Das APC-Schätzmodul **602** ermittelt eine geschätzte APC **630** basierend auf dem MAP **632**, der durch den MAP-Sensor **184** gemessen wird. Das APC-Schätzmodul ermittelt die geschätzte APC **630** basierend auf dem MAP **632** und unter Verwendung der MAP-APC-Beziehung **289**.

[0136] Das Ist-APC-Modul **606** ermittelt eine Ist-APC **634** basierend auf der RPM **346**, die unter Verwendung des RPM-Sensors **180** gemessen wird, und der MAF **636**, die unter Verwendung des MAF-Sensors **186** gemessen wird. Lediglich beispielhaft kann das Ist-APC-Modul **606** die Ist-APC **634** basierend auf der RPM **346** und der MAF **636** unter Verwendung einer oder mehrerer Funktionen und/oder Abbildungen ermitteln, welche die RPM **346** und die MAF **636** mit der Ist-APC **634** in Beziehung setzen.

[0137] Das Modul **610** zur Ermittlung der APC-Korrektur empfängt die geschätzte APC **630** und die Ist-APC **634**. Das Modul **610** zur Ermittlung der APC-Korrektur ermittelt eine MAP-APC-Korrektur basierend auf einer Differenz zwischen der geschätzten APC **630** und der Ist-APC **634**. Das Modul **610** zur Ermittlung der APC-Korrektur kann die MAP-APC-Korrektur in einer Abbildung von MAP-APC-Korrekturen speichern, die durch den MAP indiziert ist. Das Modul **610** zur Ermittlung der APC-Korrektur kann eine gespeicherte von den MAP-APC-Korrekturen basierend auf dem maximalen Soll-FE-MAP **340** abrufen und die MAP-APC-Korrektur **290** gleich der abgerufenen der MAP-APC-Korrekturen setzen.

[0138] Das Modul **614** zur Ermittlung des APC-Drehmoments ermittelt ein APC-Drehmoment **640** basierend auf einer APC **642**, wie beispielsweise der Ist-APC **634**. Lediglich beispielhaft kann das Modul **614** zur Ermittlung des APC-Drehmoments das APC-Drehmoment **640** basierend auf der APC **642** unter Verwendung der APC-Drehmomentbeziehung **273** und der gegenwärtigen Betriebsparameter ermitteln.

[0139] Das Modul **618** zur Ermittlung des MAP-Drehmoments ermittelt ein MAP-Drehmoment **644** basierend auf einem MAP **646**, wie beispielsweise dem MAP **632**, der durch den MAP-Sensor **186** gemessen wird. Lediglich beispielhaft kann das Modul **618** zur Ermittlung des MAP-Drehmoments das MAP-Drehmoment **644** basierend auf dem MAP **646** unter Verwendung der MAP-Drehmomentbeziehung **287** und der gegenwärtigen Betriebsparameter ermitteln.

[0140] Das Modul **622** zur Ermittlung der MAP-Korrektur empfängt das APC-Drehmoment **640** und das MAP-Drehmoment **644**. Das Modul **622** zur Ermittlung der MAP-Korrektur ermittelt eine MAP-Drehmomentkorrektur basierend auf einer Differenz zwischen dem APC-Drehmoment **640** und dem MAP-Drehmoment **644**. Das Modul **622** zur Ermittlung der MAP-Korrektur kann die MAP-Drehmomentkorrektur in einer Abbildung von MAP-Drehmomentkorrekturen speichern, die durch den MAP indiziert ist. Das Modul **622** zur Ermittlung der MAP-Korrektur kann eine entsprechende der gespeicherten MAP-Drehmomentkorrekturen basierend auf dem maximalen Soll-FE-MAP **340** abrufen und die MAP-Drehmomentkorrektur **288** gleich der abgerufenen der MAP-Drehmomentkorrekturen setzen.

[0141] Nun auf **Fig. 8** Bezug nehmend, ist ein Flussdiagramm dargestellt, das ein beispielhaftes Verfahren **800** zum Ermitteln des maximalen FE-Drehmoments **291** zeigt. Die Steuerung beginnt mit 804, wo die Steuerung den minimalen Soll-FE-Unterdruck **342** ermittelt. Die Steuerung kann den minimalen Soll-FE-Unterdruck **342** beispielsweise basierend auf der RPM 346 ermitteln.

[0142] Die Steuerung ermittelt das maximale FE-Bremsmoment **286** bei 808. Die Steuerung ermittelt das maximale NVH-Drehmoment **430** bei 812. Die Steuerung kann das maximale NVH-Drehmoment **430** basierend auf der RPM **346**, dem Übersetzungsverhältnis **432** und der Umgebungslufttemperatur **434** ermitteln. Die Steuerung ermittelt bei 816, ob das maximale FE-Bremsmoment **286** größer als das maximale NVH-Drehmoment **430** ist. Wenn ja, setzt die Steuerung das maximale FE-Drehmoment **291** bei 820 gleich dem maximalen FE-Bremsmoment **286** und fährt mit 828 fort; wenn nein, setzt die Steuerung das maximale FE-Drehmoment **291** bei 824 gleich dem maximalen NVH-Drehmoment **430** und fährt mit 828 fort.

[0143] Bei **828** ermittelt die Steuerung die Schwellenwerte. Spezieller kann die Steuerung den Schwellenwert für den schnellen Ausstieg, den Schwellenwert für den langsamen Ausstieg und den Einstiegsschwellenwert bei 828 ermitteln. Die Steuerung ermittelt bei 832, ob in dem FE-Modus gearbeitet werden soll. Wenn ja, fährt die Steuerung mit 836 fort; wenn nein, fährt die Steuerung mit 840 fort, was nachstehend weiter diskutiert wird.

[0144] Bei **836** begrenzt die Steuerung die Luftdrehmomentanforderung **265** auf das maximale FE-Drehmoment **291**, und die Steuerung fährt mit 840 fort. Die Steuerung ermittelt die korrigierte Luftdrehmomentanforderung **546** bei 840. Die Steuerung ermittelt die korrigierte Luftdrehmomentanforderung **546** basierend auf der Summe der anfänglichen Luftdrehmomentanforderung **540** und der Regelungs-Drehmomentkorrektur **544**. Die Steuerung ermittelt die Basis-Luftdrehmomentanforderung **547** bei 844, indem die korrigierte Luftdrehmomentanforderung **546** in ein Basisdrehmoment umgewandelt wird.

[0145] Die Steuerung ermittelt den Soll-MAP **266**, die Soll-APC **268** und die Soll-Drosselfläche **267** bei 848, und die Steuerung endet. Obgleich die Steuerung derart gezeigt ist und diskutiert wird, dass sie endet, ist das Verfahren **800** eine Veranschaulichung einer Steuerschleife, und die Steuerung kann stattdessen zu 804 zurückkehren.

Patentansprüche

1. Motorsteuersystem, das umfasst:
 ein Modul (302) für einen Soll-Krümmerabsolutdruck (Soll-MAP), das einen Soll-MAP (340) für den Betrieb eines Motors (102) in einem Zylinderdeaktivierungsmodus oder in einem Modus mit niedrigem Hub basierend auf einer Differenz zwischen einem Soll-Unterdruck (342) und einem Luftdruck (344) stromaufwärts eines Drosselventils (112) ermittelt;
 ein MAP-Drehmomentmodul (318), das eine Soll-Drehmomentabgabe des Motors (102) für den Betrieb in dem Zylinderdeaktivierungsmodus oder in dem Modus mit niedrigem Hub basierend auf dem Soll-MAP (340) ermittelt;
 ein Schwellenwertermittlungsmodul (410), das ein Einstiegsdrehmoment basierend auf der Soll-Drehmomentabgabe ermittelt; und
 ein Modul (414) für einen Kraftstoffwirtschaftlichkeitsmodus (FE-Modus), das den Betrieb in dem Zylinderdeaktivierungsmodus oder in dem Modus mit niedrigem Hub basierend auf einem Vergleich des Einstiegsdrehmoments und einer Drehmomentanforderung (263) selektiv auslöst.

2. Motorsteuersystem nach Anspruch 1, das ferner umfasst:
 ein Modul (402) zur Ermittlung eines Geräusch-, Vibrations- und Rauheitsdrehmoments (NVH-Drehmoments), das ein NVH-Drehmoment (430) ermittelt,
 wobei ein NVH-Wert größer als ein vorbestimmter Wert ist, wenn eine Ist-Drehmomentabgabe des Motors (102) während des Betriebs in dem Zylinderdeaktivierungsmodus oder in dem Modus mit niedrigem Hub größer als das NVH-Drehmoment (430) ist; und
 ein Maximaldrehmomentmodul (406), das eine maximale Drehmomentabgabe (291) für den Betrieb in dem Zylinderdeaktivierungsmodus oder in dem Modus mit niedrigem Hub gleich dem NVH-Drehmoment (430) oder gleich der Soll-Drehmomentabgabe setzt,
 wobei das Schwellenwertermittlungsmodul (410) das Einstiegsdrehmoment basierend auf der maximalen Drehmomentabgabe (291) ermittelt.

3. Motorsteuersystem nach Anspruch 2, wobei das Maximaldrehmomentmodul (406) die maximale Drehmomentabgabe (291) gleich einem kleineren von dem NVH-Drehmoment (430) und der Soll-Drehmomentabgabe setzt.

4. Motorsteuersystem nach Anspruch 2, wobei das Schwellenwertermittlungsmodul (410) das Einstiegsdrehmoment ferner basierend auf einem Übersetzungsverhältnis (432) festlegt.

5. Motorsteuersystem nach Anspruch 2, wobei das Modul (402) zur Ermittlung des NVH-Drehmoments das NVH-Drehmoment (430) basierend auf einem Übersetzungsverhältnis (432), einer Motordrehzahl (346) und einem Umgebungslufttemperatur (434) ermittelt.

6. Motorsteuersystem nach Anspruch 2, das ferner umfasst:
ein Betätigungsmodul (224), das eine Luftdrehmomentanforderung (265) basierend auf der Drehmomentanforderung (263) ermittelt; und
ein Luftsteuermodul (228), das die Luftdrehmomentanforderung (265) während des Betriebs in dem Zylinderdeaktivierungsmodus oder in dem Modus mit niedrigem Hub auf die maximale Drehmomentabgabe (291) begrenzt, um eine begrenzte Luftdrehmomentanforderung (540) zu ermitteln, und das einen Soll-MAP (266), eine Soll-Luft pro Zylinder (Soll-APC) (268) und eine Soll-Drosselfläche (267) basierend auf der begrenzten Luftdrehmomentanforderung (540) ermittelt.

7. Motorsteuersystem nach Anspruch 2, wobei das Schwellenwertermittlungsmodul (410) ferner ein Ausstiegsdrehmoment basierend auf der maximalen Drehmomentabgabe (291) ermittelt und wobei das Modul (414) für den FE-Modus den Betrieb in dem Zylinderdeaktivierungsmodus oder in dem Modus mit niedrigem Hub basierend auf einem zweiten Vergleich der Drehmomentanforderung (263) und des Ausstiegsdrehmoments selektiv deaktiviert.

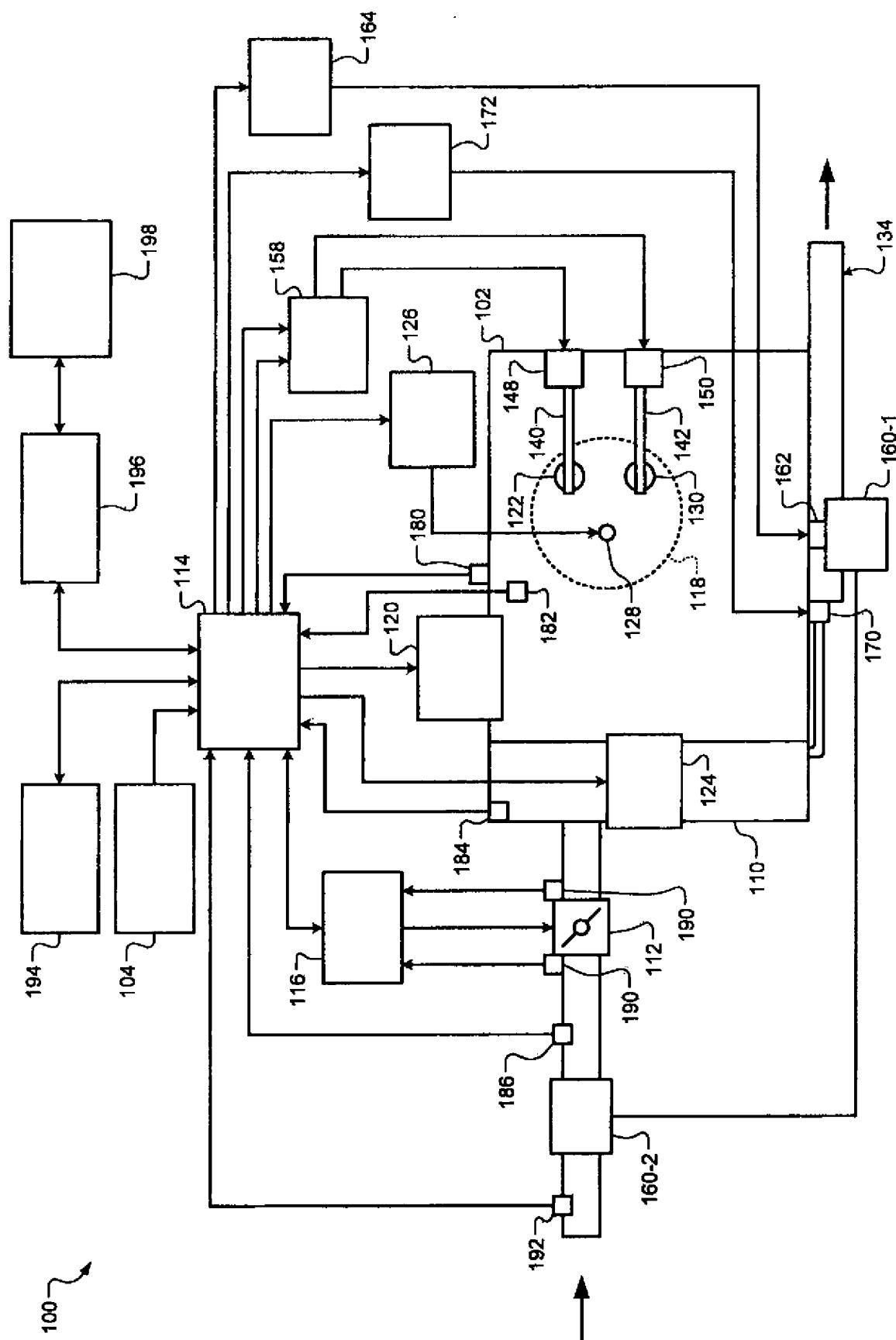
8. Motorsteuersystem nach Anspruch 1, das ferner umfasst:
ein Korrekturmodul (282), welches eine MAP-Drehmomentkorrektur (288) basierend auf einer ersten Differenz zwischen einem ersten Drehmoment (640) und einem zweiten Drehmoment (644) ermittelt, welches das erste Drehmoment (640) unter Verwendung einer ersten Beziehung (273) zwischen einer Ist-APC (634) und dem ersten Drehmoment (640) ermittelt und welches das zweite Drehmoment (644) unter Verwendung einer zweiten Beziehung (287) zwischen einem gemessenen MAP (632) und dem zweiten Drehmoment (644) ermittelt, wobei das MAP-Drehmomentmodul (318) eine unkorrigierte Soll-Drehmomentabgabe des Motors (102) für den Betrieb in dem Zylinderdeaktivierungsmodus oder in dem Modus mit niedrigem Hub basierend auf dem Soll-MAP (340) ermittelt und die Soll-Drehmomentabgabe basierend auf der MAP-Drehmomentkorrektur (288) und dem unkorrigierten Soll-Drehmoment ermittelt.

9. Motorsteuersystem nach Anspruch 8, wobei das MAP-Drehmomentmodul (318) die Soll-Drehmomentabgabe auf eine Summe der MAP-Drehmomentkorrektur (288) und des unkorrigierten Soll-Drehmoments festlegt.

10. Motorsteuersystem nach Anspruch 8, das ferner umfasst:
ein MAP-APC-Modul (310), das eine Soll-Luft pro Zylinder (Soll-APC) (350) für den Motor (102) während des Betriebs in dem Zylinderdeaktivierungsmodus oder in dem Modus mit niedrigem Hub basierend auf dem Soll-MAP (340) ermittelt;
ein MAP-Korrekturmodul (312), das eine korrigierte APC (351) basierend auf der Soll-APC (350) und einer MAP-APC-Korrektur (290) ermittelt; und
ein Modul (314) für einen optimalen Zündfunkenzeitpunkt, das einen optimalen Zündfunkenzeitpunkt (352) basierend auf der korrigierten APC (351) ermittelt;
wobei das Korrekturmodul (282) ferner die MAP-APC-Korrektur (290) basierend auf einer zweiten Differenz zwischen einer geschätzten APC (630) und der Ist-APC (634) ermittelt und
wobei das MAP-Drehmomentmodul (318) die Soll-Drehmomentabgabe ferner basierend auf dem optimalen Zündfunkenzeitpunkt (352) ermittelt.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

**FIG. 1**

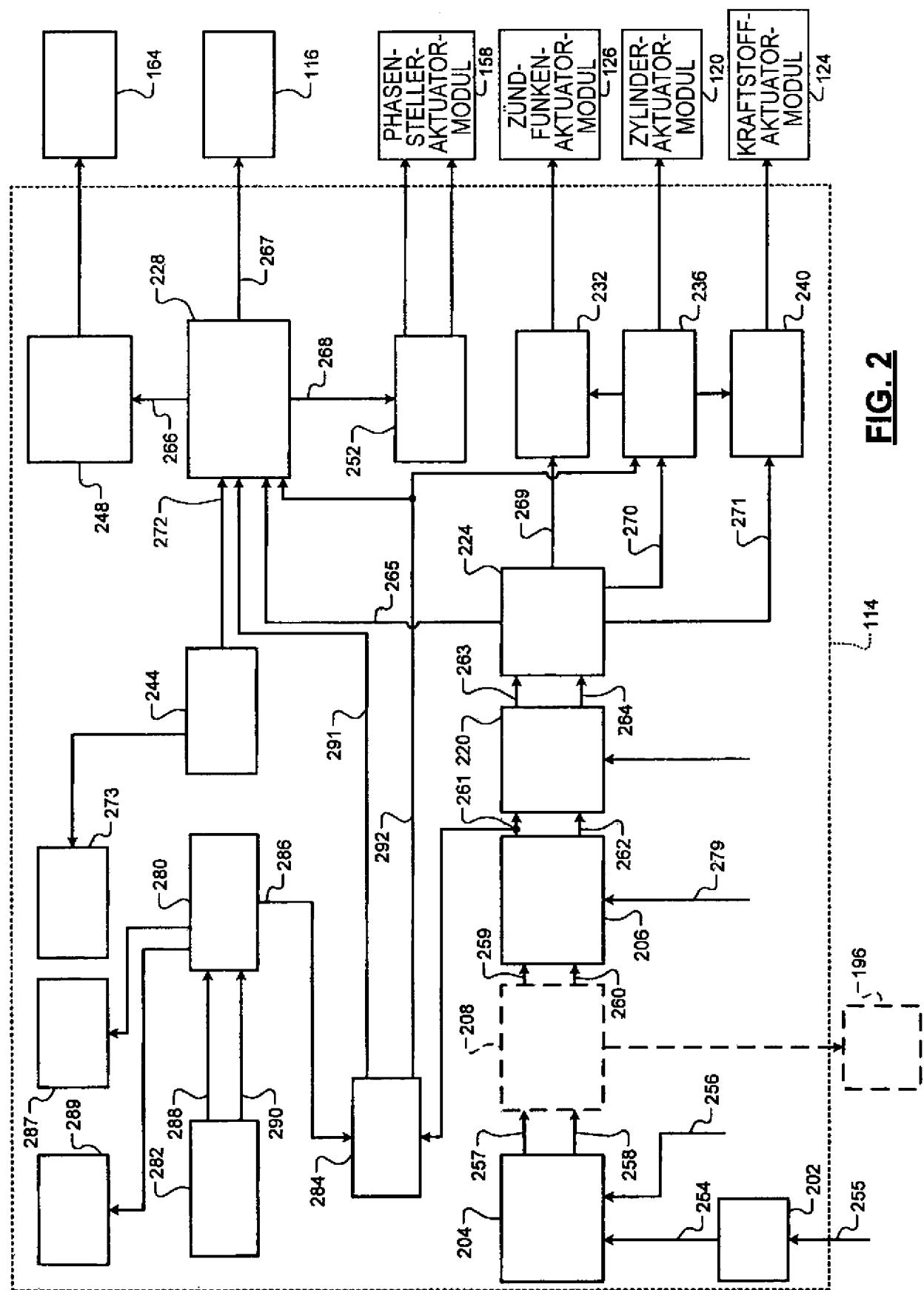


FIG. 2

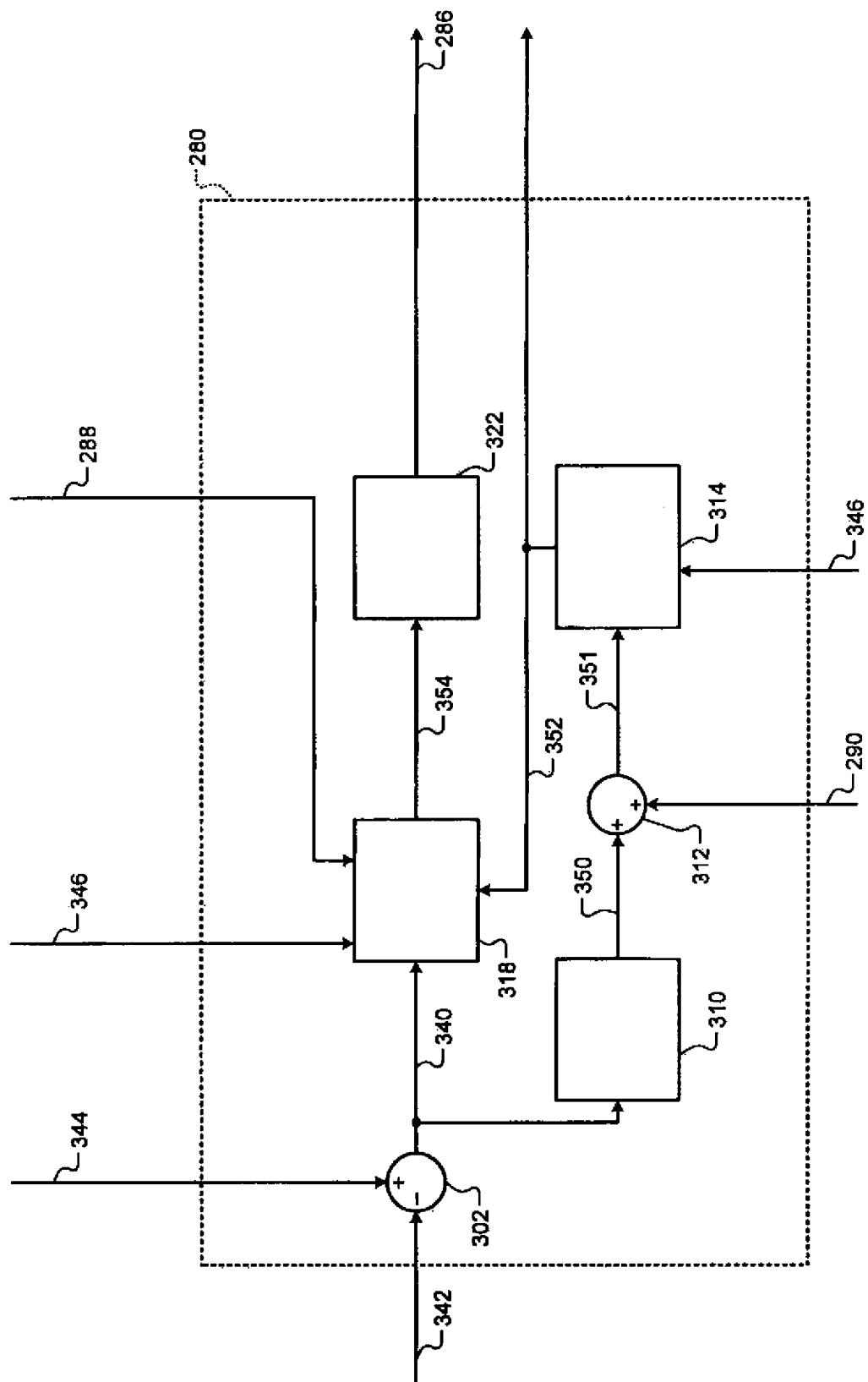


FIG. 3

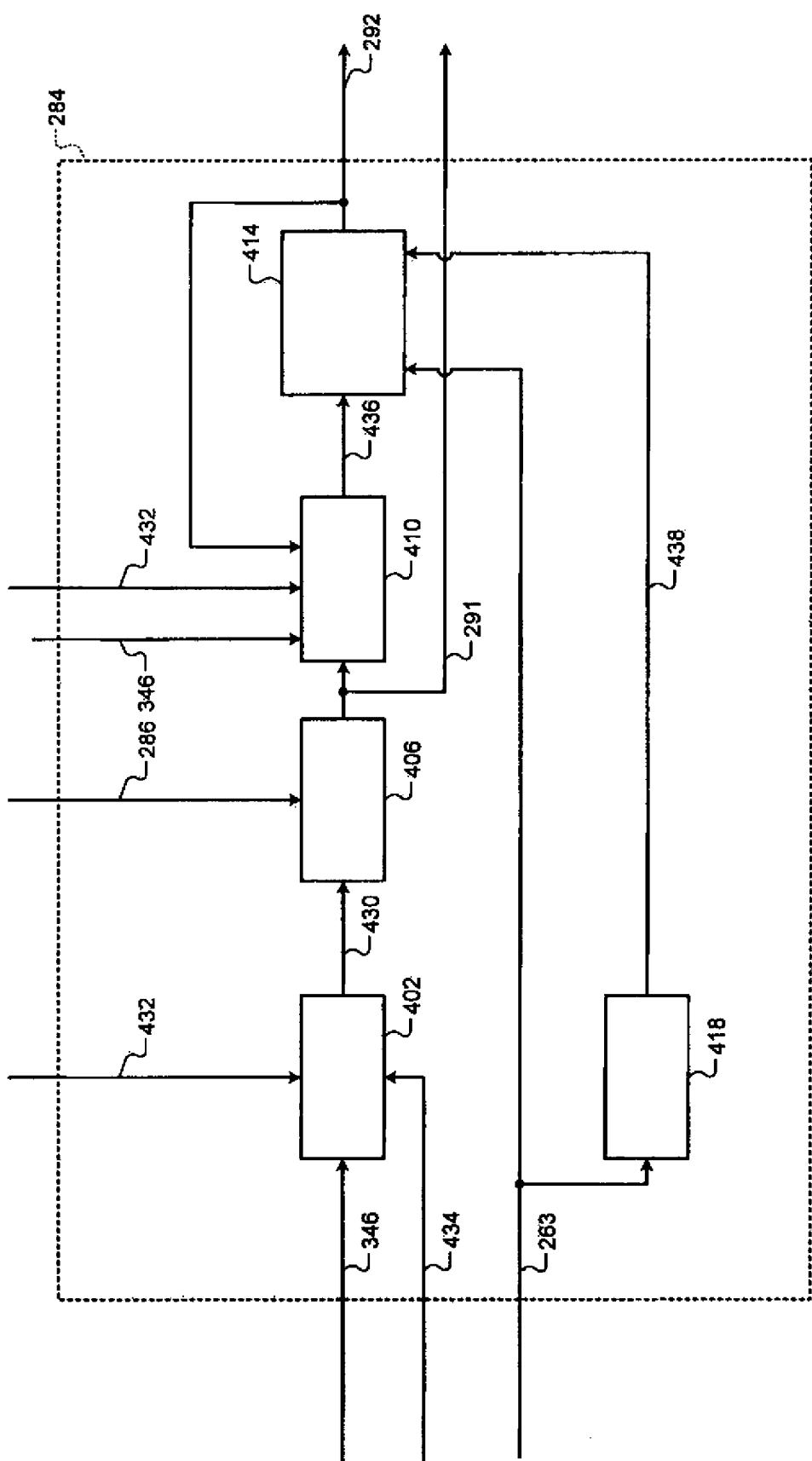


FIG. 4

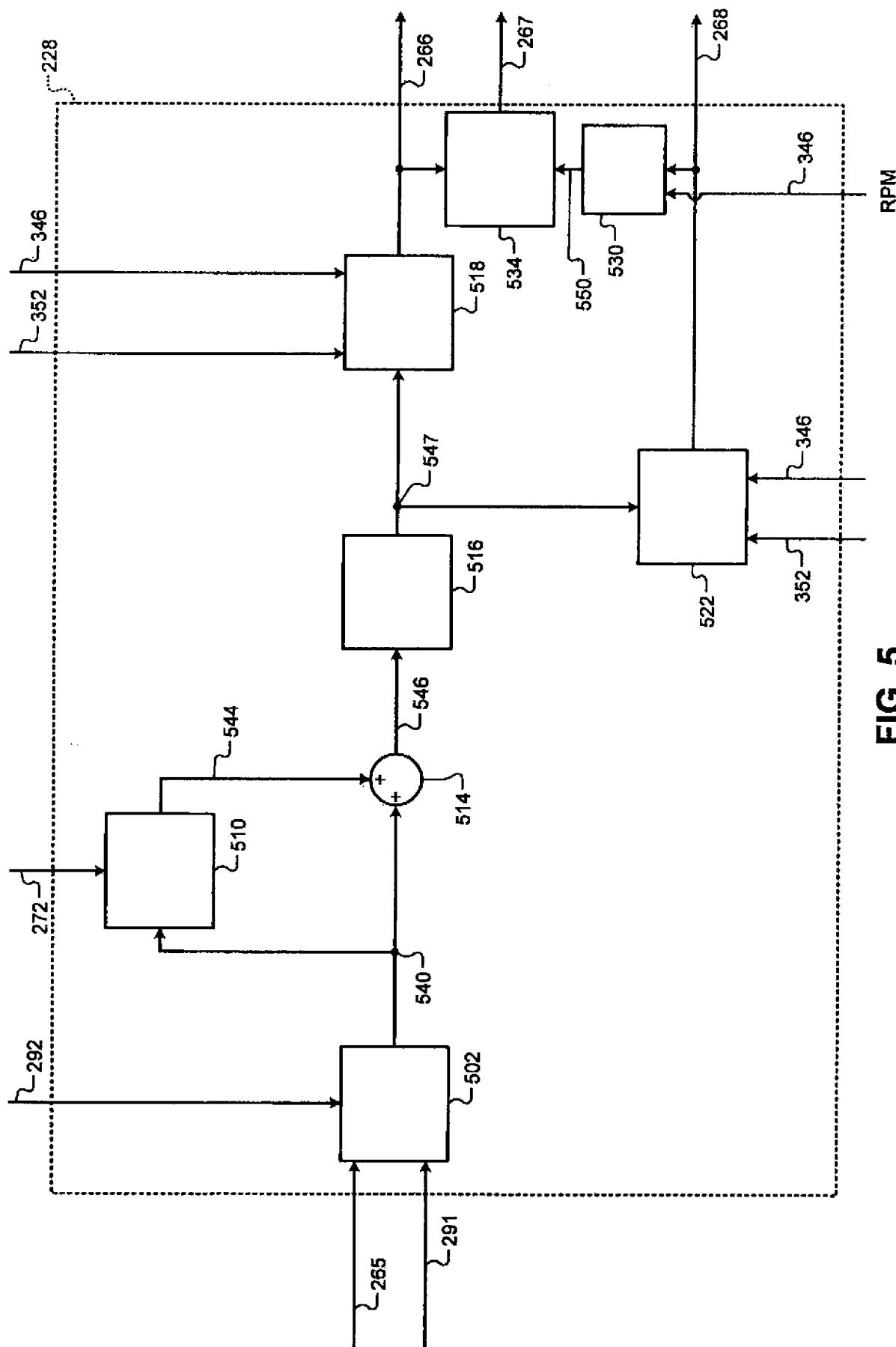


FIG. 5

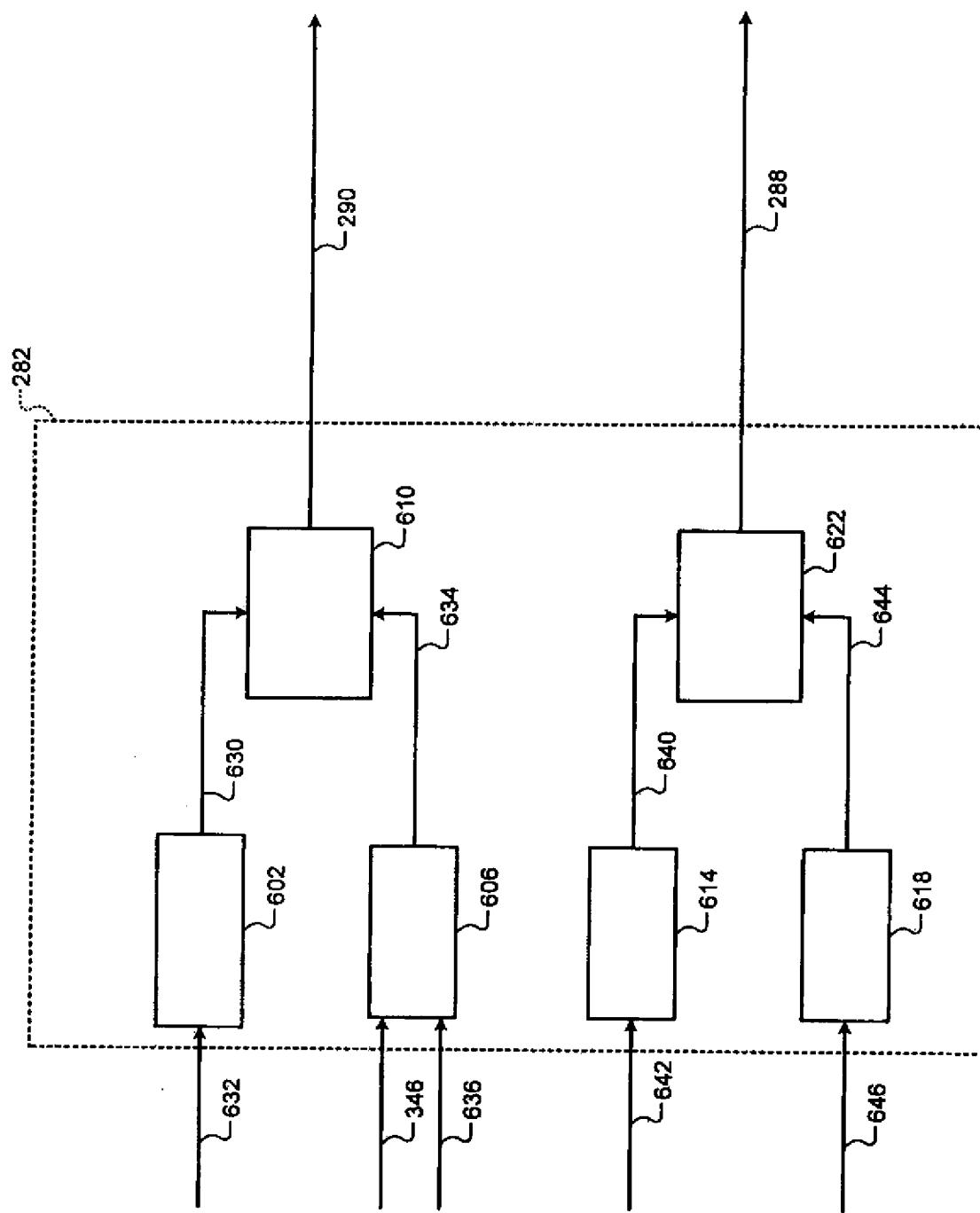


FIG. 6

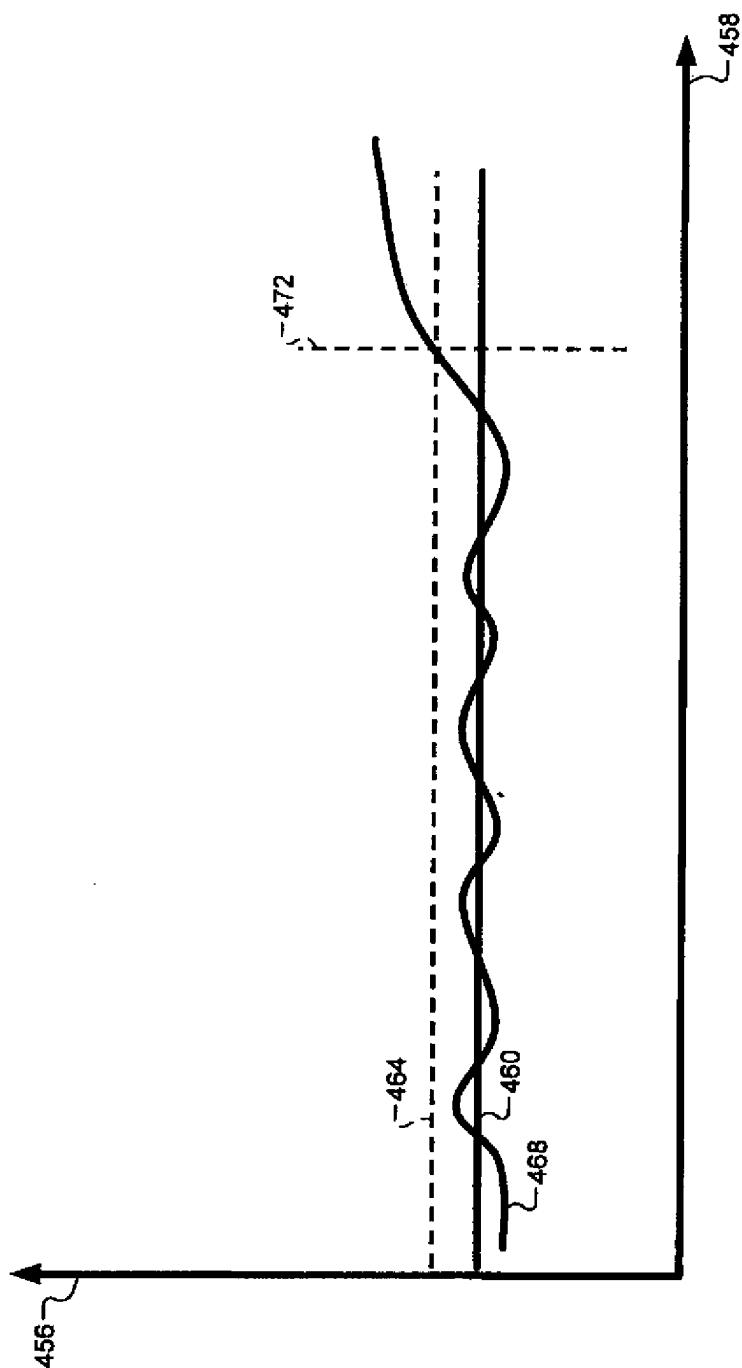
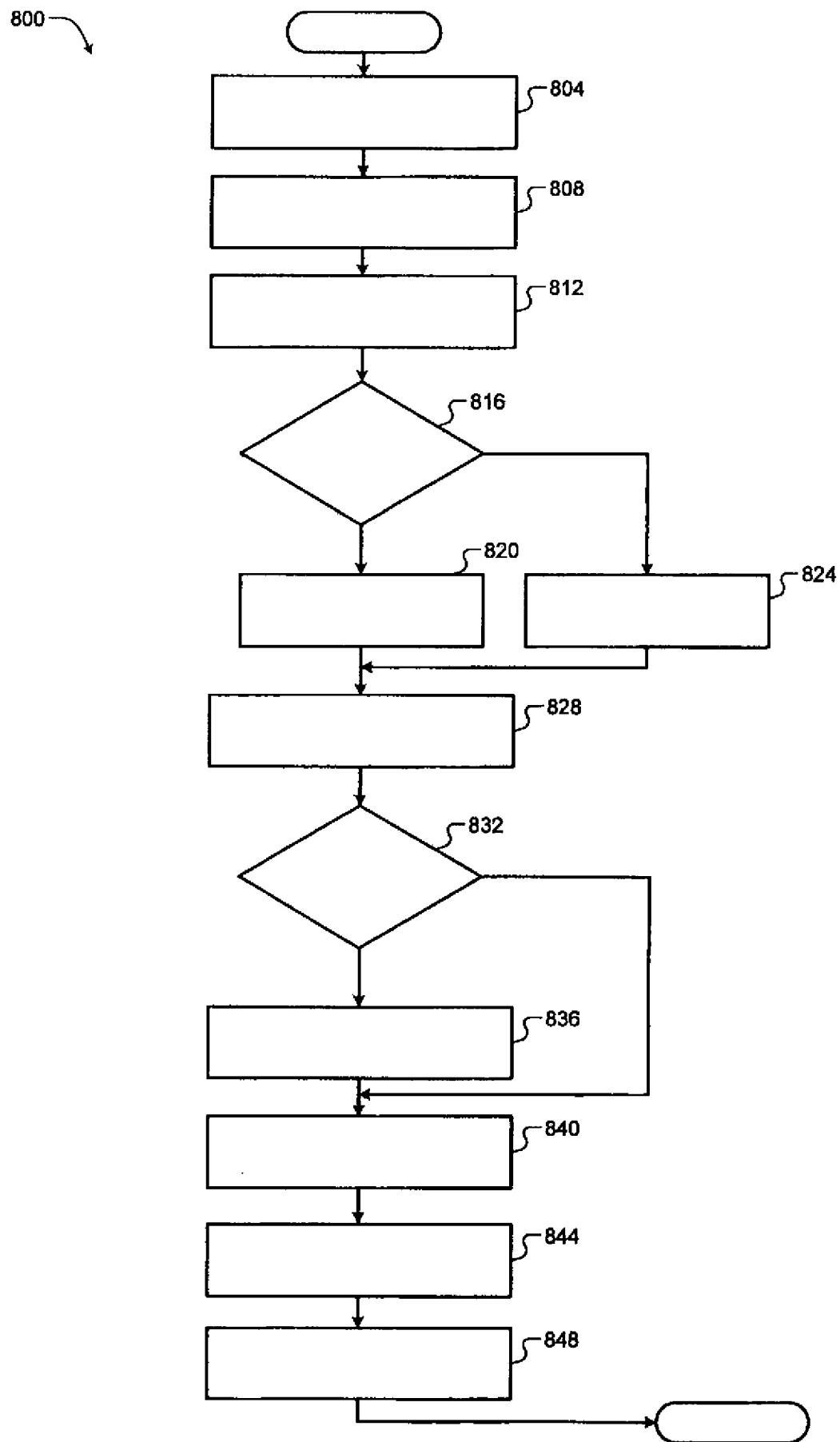


FIG. 7

**FIG. 8**