

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Nockenwellenverstellung in einer Brennkraftmaschine, wobei die Nockenwelle bzgl. einer Kurbelwelle mittels eines von einem Regler und einem Proportionalventil betätigten Verstellers um einen vorbestimmten Winkel verschwenkt wird, wobei der Regler einen Winkelsollwert mit einem Winkelistwert vergleicht, in Abhängigkeit von diesem Vergleich eine Stellgröße in Form eines Tastverhältnisses für das Proportionalventil bestimmt und bei Übereinstimmung von Winkelsoll- und Winkelistwert diese Stellgröße auf ein Haltetastverhältnis derart einstellt, daß der Winkelsollwert gehalten wird, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Zur Anpassung der Ventilsteuerung an verschiedene Betriebssituationen einer Brennkraftmaschine ist es bekannt, mittels eines Schwenkverstellers und unter Verwendung des Öldruckes einen relativen Winkel zwischen der Nockenwelle und der Kurbelwelle zu verstellen. Hierdurch ergeben sich Vorteile bzgl. Leistungsabgabe, Verbrauch sowie Schadstoffemissionen der Brennkraftmaschine. Bezüglich des Schwenkverstellers ergeben sich jedoch folgende Nachteile: Die maximalen Verstellgeschwindigkeiten des Nockenwellenstellers sind nicht konstant und für einen positiven bzw. negativen Sprung unterschiedlich. Es existieren Betriebspunkte, bei denen der Öldruck zum Verstellen nicht ausreicht. Der Winkelistwert ist im statischen Bereich häufig unruhig.

[0003] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der o.g. Art mit folgenden Eigenschaften zur Verfügung zu stellen: Gleichbleibend hohe Regelgüte unter allen Betriebsbedingungen, Vereinfachung der Applikation und Auffangen von Streuungen und Toleranzen durch intelligente Adaptionsstrategie.

[0004] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren der o.g. Art mit den in Anspruch 1 gekennzeichneten Merkmalen gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0005] Dazu ist es erfindungsgemäß vorgesehen, daß während einer Verstellung der Nockenwelle vor einem jeweiligen Soll-/Istwert-Vergleich dem Winkelistwert ein Prädiktionswinkel derart hinzuaddiert wird, daß die Summe aus Winkelistwert und Prädiktionswinkel einem Winkel der Nockenwelle entspricht, den diese nach Umstellen der Stellgröße auf den Haltewert bis zum vollständigen Schließen des Proportionalventils während einer Ventilschließzeit erreicht.

[0006] Dies hat den Vorteil, daß eine präzise Nockenwellenverstellung ohne wesentliches Überschwingen erzielt wird, da ein weiteres Verschwenken der Nockenwelle während der Ventilschließzeit bereits beim Soll-/Istwertvergleich berücksichtigt wird. Ferner ergibt sich eine vereinfachte Applikation, da statt einer aufwendigen Bedatung wichtige Größen berechnet wer-

den.

[0007] Die Ermittlung der jeweiligen Verstellgeschwindigkeit der Nockenwelle vor jedem Soll-/Istwertvergleich mittels Flankensignalen von einem der Nockenwelle zugeordneten Schnellstartgeberrad berücksichtigt einen Einfluß des Öldruckes auf den Prädiktionswinkel. Beispielsweise erhöht sich bei größerem Öldruck die Verstellgeschwindigkeit, was zu einem größeren Prädiktionswinkel führt.

[0008] Zweckmäßigerweise wird die Verstellgeschwindigkeit aus einer Lageänderung zwischen zwei zugehörigen negativen Flankenwechseln eines der Nockenwelle zugeordneten Schnellstartgeberrades berechnet, wobei bevorzugt über alle Flankenwechsel einer vollständigen Umdrehung des Schnellstartgeberrades gerechnet wird.

[0009] Sofern jedoch über eine Zeitspanne größer als dem Rechenraster kein Flankensignal des Schnellstartgeberrades auftritt, wird der Winkelistwert für einen nachfolgenden Soll-/Istwertvergleich unter Verwendung der Verstellgeschwindigkeit fortgeschrieben. Hierzu wird bei Ausbleiben eines Flankensignals vom Schnellstartgeberrad zwischen zwei Rechentakten beim nächstfolgenden Rechentakt der neue Winkelistwert aus dem beim letzten Rechentakt erhaltenen Winkelistwert zusammen mit einer Winkelkorrektur bestimmt, wobei die Winkelkorrektur aus der Verstellgeschwindigkeit und der Dauer eines Rechentaktes berechnet wird.

[0010] Eine von einer Viskosität des Öles unabhängige präzise Nockenwellenverstellung erzielt man dadurch, daß die Ventilschließzeit vor jedem Soll-/Istwertvergleich in Abhängigkeit von einer Motortemperatur, vorzugsweise der Öltemperatur, aus einem Kennfeld bestimmt wird.

[0011] Dadurch, daß für unterschiedliche Schwenkrichtungen der Nockenwelle die Ventilschließzeit aus unterschiedlichen Kennfeldern bestimmt wird, ist es möglich, Rückwirkungen auf die Nockenwelle, beispielsweise von Ventilstößeln, welche für unterschiedliche Schwenkrichtungen unterschiedliche Wirkung auf den Prädiktionswinkel haben, zu berücksichtigen.

[0012] Zweckmäßigerweise wird ab dem Beginn einer Verstellung der Nockenwelle die Ventilschließzeit von Null bis höchstens zum maximalen bzw. minimalen Wert mittels Integration verändert und ab dem Umstellen der Stellgröße auf das Haltetastverhältnis die Ventilschließzeit vom letzten Wert mittels Integration auf Null berechnet.

[0013] Zur Sicherstellung der Konvergenz des Regelverfahrens an den Winkelsollwert, wird eine jeweils bestimmte Ventilschließzeit mit einem Vorzeichen derart versehen, daß der sich aus dem Produkt aus Ventilschließzeit und Verstellgeschwindigkeit ergebende Prädiktionswinkel eine solches Vorzeichen hat, daß sich bei Addition mit dem Winkelistwert eine Betragsänderung des Winkelistwertes in Richtung des Winkelsollwertes ergibt. Mit anderen Worten wird der

Betrag des Winkelsollwertes durch den Prädiktionswinkel erhöht, wenn der Winkelsollwert im Betrag größer ist als der Winkelwert bzw. es wird der Betrag des Winkelsollwertes durch den Prädiktionswinkel erniedrigt, wenn der Winkelsollwert im Betrag kleiner ist als der Winkelwert.

[0014] Beispielsweise werden das Haltetastverhältnis, das Tastverhältnis zum Verstellen in eine Richtung und das Tastverhältnis zum Verstellen in die entgegengesetzte Richtung vorbestimmt.

[0015] In einer bevorzugten Ausführungsform wird oberhalb und unterhalb des Sollwertes ein Fangbereich mit vorbestimmter Breite vorgesehen, wobei bereits dann auf das Haltetastverhältnis umgeschaltet wird, wenn der um den Prädiktionswinkel ergänzte Winkelwert in den Fangbereich hinein fällt. Hierbei wird für eine präzise Verstellung auf einen neuen Winkel ohne Über- oder Nachschwingen während der Verstellung der Nockenwelle auf einen neuen Winkel der Fangbereich kleiner gewählt als während des Haltens des Winkelsollwertes mit dem Haltetastverhältnis. Der größere Fangbereich beim Halten verhindert zudem, daß die Regelung in unerwünschter Weise in den Betrieb der Winkelverstellung umschaltet, was zu einem unruhigen Reglerverhalten führen würde.

[0016] Eine präzise und ruhige Reglercharakteristik beim Halten eines Winkelsollwertes erzielt man dadurch, daß während des Haltens eines Winkelsollwertes eine PI-Regelung durchgeführt wird, wobei ein I-Anteil aus dem Haltetastverhältnis abgeleitet und ein P-Anteil aus einer Sollwertabweichung multipliziert mit einem vorbestimmten Faktor berechnet wird.

[0017] Weitere Merkmale, Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, sowie aus der nachstehenden Beschreibung der Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen. Diese zeigen in

Fig. 1 eine schematische Übersicht einer Nockenwellenanordnung, welche das erfindungsgemäße Verfahren ausführt,

Fig. 2 eine graphische Darstellung des Verhaltens des tatsächlichen Winkelwertes, des um einen Prädiktionswinkel korrigierten Winkelwertes und der Verschleißzeit des Proportionalventils über die Zeit;

Fig. 3 ein schematisches Blockschaltbild einer das erfindungsgemäße Verfahren ausführenden Regler Vorrichtung,

Fig. 4 ein schematisches Blockschaltbild der Modellbildung des Ventils gemäß Fig. 3,

Fig. 5 einen schematischen, blockschaltbildartigen Ablaufplan einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen

Verfahrens,

Fig. 6 einen schematischen, blockschaltbildartigen Ablaufplan der Berechnung der Nockenwellengeschwindigkeit gemäß der Ausführungsform von Fig. 5,

Fig. 7 einen schematischen, blockschaltbildartigen Ablaufplan des Beobachters mit Modellbildung des Ventils, Prädikation und Berechnung des Winkelwertes mittels Integration,

Fig. 8 einen schematischen, blockschaltbildartigen Ablaufplan der Modellbildung des 4/2-Proportionalventils gemäß Fig. 7,

Fig. 9 einen schematischen, blockschaltbildartigen Ablaufplan der Adaption der Ventilschließzeit gemäß Fig. 7,

Fig. 10 einen schematischen, blockschaltbildartigen Ablaufplan der Ausgabe des Tastverhältnisses mittels eines 3-Punkt-Reglers gemäß der Ausführungsform von Fig. 5,

Fig. 11 einen schematischen, blockschaltbildartigen Ablaufplan der Berechnung des Betriebspunktes gemäß der Ausführungsform von Fig. 5,

Fig. 12 einen schematischen, blockschaltbildartigen Ablaufplan der Freigabe der Berechnung des Betriebspunktes gemäß Fig. 11.

[0018] Das erfindungsgemäße Verfahren wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beispielhaft für die Einlaßnockenwelle beschrieben, was durch den Index "e" in den jeweiligen Bezeichnungen für Signale, Parameter bzw. Bits ersichtlich ist. Dies ist jedoch lediglich beispielhaft. Die dargestellten Erläuterungen gelten sinngemäß auch für die Auslaßnockenwelle.

[0019] Die in Fig. 1 beispielhaft dargestellte Nockenwellenanordnung für eine verstellbare Nockenwelle 10 umfaßt einen Schwenkversteller 12, ein diesen Schwenkversteller ansteuerndes 4/2-Proportionalventil 14, ein Motorsteuergerät 16, ein der Nockenwelle 10 zugeordnetes Schnellstartgeberrad 18, ein dieses Schnellstartgeberrad 18 abtastendes Nockenwellensensor 20 und eine die Nockenwelle 10 mit einer nicht dargestellten Kurbelwelle verbindende Kette 22. Der Nockenwellensensor 20 tastet das Schnellstartgeberrad 18 ab, wobei letzteres Erhebungen 24 aufweist, die sich bei Drehung der Nockenwelle 10 aufeinander folgend an dem Nockenwellensensor 20 vorbeibewegen und dort entsprechende Flankensignale erzeugen, die von dem Nockenwellensensor 20 an das Motorsteu-

ergerät 16 übertragen werden. Das Motorsteuergerät 16 steuert wiederum das Proportionalventil 14 derart an, daß den Schwenkversteller mit entsprechendem Öldruck aus einem Ölkreislauf 26 versorgt wird. Dieser Öldruck wird von einer Motorölpumpe 28 erzeugt.

[0020] Fig. 2 veranschaulicht grafisch die Arbeitsweise des im Motorsteuergerät 16 (Fig. 1) angeordneten erfindungsgemäßen Reglers. In Fig. 2 ist ein Zeitabschnitt dargestellt, welcher eine Verstellung der Nockenwelle von einem Winkel 0°KW ($\text{KW} = \text{Kurbelwelle}$) bis zu einem Winkel 20°KW darstellt. Zu einem Zeitpunkt $t = 0 \text{ s}$ wird ein Bit B_{nwvpos} auf 1 gesetzt, was das Verstellen der Nockenwelle auf einen neuen Relativwinkel bezüglich der Kurbelwelle signalisiert. Als Winkelsollwert ist 20°KW eingestellt. Die Linie 30 veranschaulicht den sich über die Zeit verändernden Winkelwert der Kurbelwelle, welcher nachfolgend mit $wnwise$ bezeichnet ist.

[0021] Je nach Stellung des Proportionalwegeventils 14 (Fig. 1) benötigt dieses eine vorbestimmte Zeit $znwve$, bis dieses wieder geschlossen ist. Diese Ventilschließzeit $znwve$ ist mit Linie 32 dargestellt. Mit andern Worten benötigt das Ventil nach Rücksetzen des Bits B_{nwvpos} auf Null die Zeitspanne $znwve$ bis es vollständig geschlossen ist. In der dargestellten Ausführungsform sind dies 40 ms. Während dieser 40 ms wird der Schwenkversteller 12 vom Öldruck weiter bewegt, wodurch sich auch der relative Winkel der Nockenwelle 10 zur Kurbelwelle verändert. Diese Winkelveränderung hängt im wesentlichen von der Steigung der Kurve 30, d.h. von der Geschwindigkeit ab, mit der sich der Winkelwert verändert (Verstellgeschwindigkeit). Das Produkt aus dieser Verstellgeschwindigkeit $vnwde$ und der Ventilschließzeit $znwve$ ergibt einen Prädiktionswinkel $wnwpe$. Die Summe aus aktuellem Winkelwert $wnwise$ und Prädiktionswinkel $wnwpe$ ergibt somit einen endgültigen Winkel der Nockenwelle 10 gegenüber der Kurbelwelle, welcher nach Beendigung der Verstellung mittels Rücksetzen des Bits B_{nwvpos} auf "0" von der Nockenwelle 10 letztendlich erreicht wird.

[0022] Erfindungsgemäß ist es nunmehr im Regler vorgesehen, daß ein Soll-/Istwert-Vergleich nicht mit dem tatsächlichen Istwert $wnwise$ erfolgt, sondern mit der Summe aus $wnwise$ und dem Prädiktionswinkel $wnwpe$. Dementsprechend beendet der Regler die Verstellung bei $t = 200 \text{ ms}$ derart rechtzeitig, daß durch das Weiterlaufen der Nockenwelle 10 im Bereich $t = 200 \text{ ms}$ bis $t = 240 \text{ ms}$ bedingt durch die Schließzeit $znwve$ des Proportionalwegeventils 14 möglichst genau der gewünschte Sollwinkel von 20°KW erreicht wird.

[0023] Mit anderen Worten wird zur Regelung der Nockenwellen-Istposition ein Prädiktionsregler verwendet. Übersteigt die Regeldifferenz einen Schwellwert und liegt somit ein erhöhter Stellbedarf vor, wird das Proportionalwegeventil 14 mit maximalem Tastverhältnis angesteuert, was durch Setzen des Bits B_{nwvpos} auf "1" erzielt wird und für die Zeitdauer von $t = 0 \text{ s}$ bis $t = 200 \text{ ms}$ andauert. Entsprechende Kanäle im Propor-

tionalwegeventil 14 geben den größtmöglichen Öffnungsquerschnitt frei und führen zu einer maximalen Verstellgeschwindigkeit $vnwde$. Um ein optimales Einschwingverhalten zu erreichen, wird der Prädiktionswinkel $wnwpe$ verwendet. Diese Größe berücksichtigt den Winkel, den die Nockenwelle benötigt, um aufgrund der endlichen Ventilschließzeit $znwve$ von der momentanen Verstellgeschwindigkeit $vnwde$ zum Stillstand zu kommen. Die Ansteuerung des 4/2-Proportionalwegeventils 14 wird bereits beendet, wenn der Winkelwert den Winkelsollwert bis auf den Prädiktionswinkel $wnwpe$ erreicht hat. Der Prädiktionswinkel errechnet sich als Produkt aus der aktuellen Verstellgeschwindigkeit $vnwde$ und der Ventilschließzeit $znwve$.

[0024] Die Verstellgeschwindigkeit $vnwde$ wird aus der Lageänderung der Nockenwelle zwischen zwei negativen Signalen einer Flanke des Schnellstartgeberadsignals berechnet. Die Ermittlung der Verstellgeschwindigkeit $vnwde$ berücksichtigt hierbei den Einfluß des Öldruckes, so daß eine genaue Ermittlung der Prädiktionswinkels möglich ist.

[0025] In dem erfindungsgemäßen Regelverfahren erfolgt der Soll-/Istwertvergleich ständig im Rhythmus eines Rechenrasters von beispielsweise 4 ms. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß nicht innerhalb eines jeden Rechenzyklus ein Flankensignal des Schnellstartgeberades 18 auftritt und somit nicht zu jedem Rechentakt der tatsächliche Winkelwert bestimmt werden kann. Um nun trotzdem beim nächsten Rechentakt einen Soll-/Istwertvergleich vornehmen zu können, wird erfindungsgemäß der Winkelwert $wnwise$ aus der bestimmten Verstellgeschwindigkeit $vnwde$ berechnet bzw. fortgeschrieben, bis wieder ein Flankensignal des Schnellstartgeberades 18 auftritt, bei dem eine genaue Positionsfeststellung der Kurbelwelle, der Nockenwelle 10 und somit eines relativen Winkels zwischen diesen (Winkelwert) meßbar ist. Die momentane Ventilschließzeit $znwve$ wird ebenfalls ständig in Abhängigkeit von der Betriebssituation der Brennkraftmaschine aktualisiert.

[0026] Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf die Fig. 3 bis 12 eine konkrete bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Regelverfahrens beschrieben.

[0027] Fig. 3 veranschaulicht in einem Blockschaltbild eine vereinfachte Struktur eines Drei-Punkt-Nockenwellen-Reglers. In einem Block 34 wird in nachfolgend noch näher erläuteter Weise die aktuelle Verstellgeschwindigkeit $vnwde$ der Nockenwelle berechnet. Diese Verstellgeschwindigkeit $vnwde$ wird einem Integrator 36 zugeführt, welcher aus der Verstellgeschwindigkeit $vnwde$ über die Zeit einen geschätzten Winkelwert $wnwise'$ berechnet, sofern kein Flankensignal des Schnellstartgeberades 18 und somit kein gemessener Winkelwert vorliegt. Gleichzeitig wird bei jedem Rechentakt aus einer Modellbildung des Proportionalwegeventils in Block 38 eine für die momentane Betriebssituation gültige Ventilschließzeit $znwve$

bestimmt und ausgegeben. Des weiteren steuert Block 38 einen Schalter 40 mittels eines Bits B_{nwvhe} derart, daß wahlweise der Ausgang aus Block 34 oder ein Wert "0" an den Integrator 36 gegeben wird. Dieses Bit B_{nwvhe} ist dann auf "1" gesetzt, wenn keine Verstellung des Nockenwellenwinkels auf einen neuen Wert, sondern ein Halten des momentanen Istwertes erfolgen soll. In diesem Fall erfolgt keine Fortschreibung des Winkelwertes $wnwise$, da dieser sich möglichst nicht verändern soll. Aus der momentanen Ventilschließzeit $znwve$ zusammen mit der Verstellgeschwindigkeit $vnwde$ wird in einem Block 42 der Prädiktionswinkel $wnwpe$ berechnet. In Block 44 werden der Prädiktionswinkel $wnwpe$ und der abgeschätzte Winkelwert $wnwise'$ zum Gesamtwinkel $wnwgsde$ für den Soll-/Istwertvergleich im Regler berechnet. Dieser Soll-/Istwertvergleich zwischen $wnwgsde$ und dem Winkelsollwert für die Nockenwelle $wnwse$ erfolgt in Block 46. Dieser Block 46 schaltet mittels der Bits B_{nwvpos} , B_{nwvhe} und B_{nwvneg} die Betriebsart des Reglers, d.h. Halten oder Verstellen des Relativwinkels zwischen Nockenwelle und Kurbelwelle. Sofern der Soll-/Istwertvergleich ergibt, daß eine große Sollwertdifferenz vorliegt, dann wird je nach Vorzeichen dieser Differenz ein Verstellen in positiver oder negativer Richtung des Relativwinkels zwischen Nockenwelle und Kurbelwelle durch Setzen entweder des Bits B_{nwvpos} oder des Bits B_{nwvneg} auf "1" aktiviert. Sofern der Soll-/Istwertvergleich jedoch ergibt, daß sich der Gesamtwert $wnwgsde$ innerhalb eines Fangbereiches um den Sollwert $wnwse$ befindet, wird die Betriebsart "Winkelhalten" aktiviert, indem das Bit B_{nwvhe} auf "1" gesetzt wird.

[0028] Fig. 4 veranschaulicht eine vereinfachte Struktur des Blockes 38 von Fig. 3, welcher eine Modellbildung des Proportionalwegeventils 10 von Fig. 1 umfaßt. In Abhängigkeit von einem Parameter t_{mot} , welcher eine Motortemperatur darstellt, wird für die unterschiedlichen Verstellrichtungen aus einem jeweiligen Kennfeld 48, 50 eine jeweilige maximale Ventilschließgeschwindigkeit für ein Verstellen in positiver bzw. negativer Richtung bestimmt und an einen Integrator 52 übergeben. Dieser Integrator 52 erhält ein zu integrierendes Eingangssignal von einer Logik 54. Dieser Logik ist durch Überprüfung der Bits B_{nwvpos} und B_{nwvneg} bekannt, in welcher Regelsituation sich der Regler momentan befindet. Ferner ist der Logik 54 über Rückkopplung 56 der momentane Zustand des Integrators 52 ebenso bekannt. Durch ein entsprechendes Eingangssignal aus der Logik 54 erhöht der Integrator 52 an seinem Ausgang ab dem Beginn einer positiven Verstellung des Nockenwellenwinkels auf einen neuen Wert die Ventilschließzeit steigend, wie dies aus Kurve 32 in Fig. 2 ersichtlich ist. Die Werte aus den Kennfeldern 48 bzw. 50 stellen dabei die maximalen Ventilschließzeiten $znwve$ für die positive bzw. negative Verstellrichtung dar. Diese liegt bei dem Beispiel gemäß Fig. 2 bei 40 ms, so daß der Ausgang des Integrators 52 ab diesem Zeitpunkt konstant bleibt. Nach einer ent-

sprechenden Vorzeichenkorrektur in Block 58 wird dann schließlich von der Modellbildung in Block 38 die aktuelle Ventilschließzeit $znwve$ sowie das Bit zum Signalisieren eines Haltezustandes B_{nwvhe} ausgegeben.

5 **[0029]** Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf die Fig. 4 bis 12 eine konkrete Ausgestaltung des Funktionsablaufes der erfindungsgemäßen Regelung gemäß der Figuren 3 und 4 beschrieben.

10 **[0030]** Fig. 5 veranschaulicht hierzu in einer Übersicht den erfindungsgemäßen Nockenwellenregler. Dieser umfaßt folgendes: einen Beobachter 60, welcher die Funktionen der Blöcke 36, 38, 42 und 44 gemäß Fig. 3 in sich vereint, eine Geschwindigkeitsberechnung 62, eine Adaption des Arbeitspunktes 64, eine Fehlerbehandlung 66 und eine Ausgabe des Tastverhältnisses 68. Der in Fig. 5 dargestellte Nockenwellenregler erhält als Eingangswerte einen Winkelsollwert $wnwse$ sowie einen Winkelwert $wnwise$. Als Ausgangswert gibt dieser Nockenwellenregler im wesentlichen einen Stellwert in Form eines Tastverhältnisses $tanwre$ ab. Dieses Tastverhältnis $tanwre$ wird dem Proportionalwegeventil zugeführt und stellt eine entsprechende Ventilstellung derart ein, daß entweder der Nockenwellenwinkel in negative Richtung verändert wird (Tastverhältnis $tanwre = tanwne$) oder der Nockenwellenwinkel in positiver Richtung verändert wird (Tastverhältnis $tanwre = tanwpe$) oder der momentane Winkelwert gehalten wird (Tastverhältnis $tanwre = tanwrhe + tanwpe$, wie nachfolgend unter Bezugnahme auf Fig. 10 noch näher erläutert wird).

15 **[0031]** Fig. 6 veranschaulicht die Berechnung der Verstellgeschwindigkeit $vnwde$ in Block 62. Diese Berechnung erfolgt immer dann, wenn das Bit B_{nwie} gleich "1" ist und damit signalisiert, daß ein Flankensignal des Schnellstartgeberrades empfangen wurde. In diesem Fall erfolgt der Ablauf von Operationen in einem Zweig 70, wobei diese Operationen mit /1/ bis /11/ gekennzeichnet sind, wobei die Ziffern die Reihenfolge der Funktionsausführung beginnend mit /1/ kennzeichnen. In Block 72 erfolgt dann die Auswertung mehrerer Flankensignale des Schnellstartgeberrades über eine volle Umdrehung desselben. Entsprechende Drehwinkel und Zeitabschnitte zwischen den Flankensignalen werden in Schieberegistern 74 bzw. 76 aufgenommen und in Blöcken 78 bzw. 80 aufsummiert. In Block 82 werden die aufsummierten Winkel durch die aufsummierten Zeiten geteilt, woraus sich die Verstellgeschwindigkeit $vnwde$ gemittelt über eine volle Umdrehung des Schnellstartgeberrades ergibt. Gegebenenfalls erfolgt in einem Filter 84 eine Filterung der berechneten Verstellgeschwindigkeit $vnwde$, wodurch die Geschwindigkeitserfassung geglättet wird. Die Drehung des Schnellstartgeberrades erfolgt jedoch nicht in der selben Frequenz, die dem Rechenraster zugrunde liegt. Demzufolge tritt ein Flankensignal nicht notwendigerweise exakt zum Zeitpunkt eines Rechentaktes auf, sondern in der Regel zwischen zwei Rechentakten. Nun wird jedoch zum Zeitpunkt des Eintritts des Flankensignals eine Vorzeichenkorrektur in Block 58 durchgeführt, die schließlich von der Modellbildung in Block 38 ausgegeben wird.

kensignals eine momentane Stellung der Kurbelwelle ausgewertet. Durch Vergleich mit der zugehörigen Flanke des Schnellstartgeberrades läßt sich somit zwar ein Relativwinkel zwischen Nockenwelle und Kurbelwelle bestimmen, jedoch liegt dieser Zeitpunkt im Moment des Rechentaktes in der Vergangenheit, da zwischen dem Auftreten des Flankensignals und dem nächsten Rechentakt ein gewisser Bruchteil einer Rechentaktzeit vergangen ist. Die Berechnungen des in den Figuren dargestellten erfindungsgemäßen Reglers erfolgen gemäß einem in Block 86 bestimmten Zeitpunkts. Um nun aus der Lagebestimmung der Kurbelwelle zum Zeitpunkt des Flankensignals einen exakten Winkelwert zum Zeitpunkt des (zeitlich später liegenden) Rechentaktes zu bestimmen, wird im Block 88 die Zeitspanne zwischen dem Auftreten des Flankensignals und dem nächsten Rechentakt bestimmt. Diese Zeitspanne wird bei 90 als letzte Funktion /11/ an den Beobachter 60 übergeben. Sofern jedoch seit dem letzten Rechentakt kein Flankensignal des Schnellstartgeberrades auftrat, ist das Bit B_{nwie} auf "0" gesetzt und es erfolgt die Ausführung des Programmzweiges 92. In diesem Zweig 92 wird lediglich eine mit /1/ bezeichnete Funktion ausgeführt, in der einem Register 94 eine Rechentaktzeit hinzu addiert wird und eine gesamt verstrichene Zeit dt_{nwe} seit dem letzten Flankensignal an den Beobachter 60 weitergeleitet wird.

[0032] Fig. 7 veranschaulicht den Funktionsablauf im Beobachter 60. Sofern durch das Bit B_{nwvhe} signalisiert wird, daß sich der Regler im Betriebsmodus "Verstellen auf einen neuen Winkelwert" befindet, wird die in Block 62 berechnete Verstellgeschwindigkeit $vnwde$ einem Integrator 94 zugeführt. Dieser berechnet aus der Verstellgeschwindigkeit und der seit dem letzten Flankensignal des Schnellstartgeberrades vergangenen Zeit einen geschätzten Winkelwert $wnwgse$. Sofern jedoch ein Flankensignal des Schnellstartgeberrades ein exaktes Bestimmen des Winkelwertes zwischen Nockenwelle und Kurbelwelle zuläßt, erfolgt ein Abgleich des Integrators 94 über Zweig 96, wobei der zum Zeitpunkt des Flankensignals bestimmte Wert des Winkels mit der entsprechenden Korrektur aufgrund der Zeitspanne zwischen Flankensignal und Rechentakt als neuer Winkelwert $wnwgse$ gesetzt wird. Die Korrektur erfolgt bei der Multiplikation der Verstellgeschwindigkeit $vnwde$ mit der Zeitspanne dt_{nwe} seit dem letzten Flankensignal im Block 98 und führt zum Korrekturwinkel $wnwkrve$, der in Block 100 dem zum Zeitpunkt des Flankensignals gemessenen Winkelwert $wnwise$ hinzu addiert wird. Der den Integrator verlassende Istwert $wnwgse$ wird schließlich in Block 102 um den Prädiktionswinkel $wnwpe$ ergänzt zu $wnwgsde$. In Block 104 erfolgt schließlich der Soll-/Istwertvergleich in dem der ergänzte Winkelwert $wnwgsde$ und der Winkelsollwert $wnwse$ voneinander abgezogen werden. Das Ergebnis ist die Regeldifferenz $dwnwe$.

[0033] Die Bestimmung des Prädiktionswinkels $wnwpe$ in Block 106 ist in Fig. 8 veranschaulicht. In Fig.

8 finden sich die Logik 54, der Integrator 52, die Rückkopplung 56, die Kennfelder 48, 50 sowie die Vorzeichenkorrektur 58 wieder. Zusätzlich wird bei 108 und 110 ein Korrekturwert für die maximale Ventilschließzeit $znwvpe$ in positiver Richtung bzw. $znwvne$ in negativer Richtung eingeführt. Die Bestimmung dieser Korrekturwerte $znwadne$ und $znwadpe$ ist in Fig. 9 veranschaulicht. In Block 112 wird geprüft, ob eine Adaption notwendig ist oder nicht. In Block 114 wird festgelegt wie adaptiert wird und in Blocke 116 erfolgt eine Lernwert-Begrenzung. In Block 118 wird die Adaption gelöscht. Der Adaptionwert berücksichtigt beispielsweise Ölviskosität, Streuungen und Leckagen.

[0034] Fig. 10 veranschaulicht schließlich den Aufbau des Blockes 68, welcher ein jeweiliges Tastverhältnis $tanwre$ zum Ansteuern des Proportionalwegeventils ausgibt. In Block 120 erfolgt in Abhängigkeit der Werte der Bits B_{nwvne} (= B_{nwvne}) und B_{nwvpe} (= B_{nwvpos}) die Auswahl aus drei Quellen für das auszugebende Tastverhältnis $tanwre$. Mit anderen Worten handelt es sich bei dem Regler mit dem Funktionsblock 120 um einen Drei-Punkt-Regler.

[0035] Sofern das Bit B_{nwvne} oder B_{nwvpe} gesetzt ist, wird jeweils ein Tastverhältnis aus dem Register 122 oder 124 ausgegeben. Hierbei handelt es sich um Tastverhältnisse zur Verstellung des Relativwinkels zwischen Nockenwelle und Kurbelwelle in positive oder negative Richtung. Sofern momentan kein neuer Relativwinkel für die Nockenwelle angefahren wird, befindet sich der Regler im "Haltemodus", d.h. es wird ein Haltetastverhältnis ausgegeben. Dieses wird in Form eines PI-Reglers erzeugt und umfaßt als P-Anteil das Tastverhältnis $tanwpe$ und als I-Anteil das Haltetastverhältnis $tanwrhfe$, die im Block 126 aufsummiert werden. Der P-Anteil $tanwpe$ ist dabei das Ergebnis einer Multiplikation aus der Regeldifferenz $dwnwe$ mit einem festen Faktor aus einem Register 128 im Funktionsblock 130.

[0036] Das Setzen oder Zurücksetzen der Bits B_{nwvne} bzw. B_{nwvpe} , die ein Verstellen auf einen neuen Relativwinkel zwischen Nockenwelle und Kurbelwelle signalisieren, erfolgt zusätzlich in Abhängigkeit von Schwellwerten $WSNW$ und $WSRNWE$ in Registern 132, 134, die jeweils einen Fangbereich um den Sollwert herum bilden. Hierbei ist ein größerer Fangbereich $WSNW$ aus Register 132. aktiv, wenn sich die Regelung im Haltemodus befindet, d.h. wenn gemäß dem gesetzten Bit B_{nwhe} der momentane Winkel gehalten werden soll. Sofern sich jedoch der Regler in einem Betriebszustand befindet, in dem auf einen neuen relativen Winkel zwischen Nockenwelle und Kurbelwelle verstellt wird, ist der kleinere Fangbereich $WSRNWE$ aus Register 134 aktiv.

[0037] Fig. 11 veranschaulicht den Aufbau und die Funktionsweise des Blockes 64 von Fig. 5 zur Berechnung des Betriebspunktes, d.h. zur Bestimmung des Haltetastverhältnisses $tanwrhfe$. Hierbei wird in einem Block 136 geprüft, ob die Berechnung des Betriebs-

punktes aktiviert werden soll oder nicht. Die Aktivierung erfolgt lediglich dann, wenn die Winkelposition der Nockenwelle bezüglich der Kurbelwelle konstant gehalten werden soll. Der Block 64 paßt dann das Haltetastverhältnis $\tan w r h f e$ in optimaler Weise derart an, daß sich ein entsprechender Betriebspunkt für die Regelung ergibt. Aufbau und Funktion des Blockes 136 sind in Fig. 12 illustriert. Hierbei wird in Block 138 ein Soll-/Istwertvergleich zwischen dem Winkelwert $w n w g s e$ und dem Winkelsollwert $w n w s e$ ohne Hinzufügung des Prädikationswinkels durchgeführt. Hierdurch ist sichergestellt, daß die Berechnung des Betriebspunktes nicht bereits in dem Zeitintervall aktiviert wird, in dem zwar die Verstellung beendet ist, jedoch das Proportionalwegeventil noch nicht ganz geschlossen ist (Ventilschließzeit $z n w v e$). In Fig. 2 ist dies der Zeitbereich von $t = 200$ ms bis $t = 240$ ms. Erst in dem Zeitbereich nach $t = 240$ ms soll die Berechnung des Betriebspunktes einsetzen. Durch eine Rückkopplung 140 wird schließlich sichergestellt, daß die Berechnung des Betriebspunktes auch dann noch aktiv bleibt, wenn sich in Abwesenheit des Wunsches der Verstellung auf einen neuen relativen Winkelwert zwischen Nockenwelle und Kurbelwelle der Winkelwert etwas weiter von dem Winkelsollwert entfernt.

Erst wenn tatsächlich der Winkelsollwert auf einen neuen Wert eingestellt wurde, der nunmehr angefahren werden muß, hört die Berechnung des Betriebspunktes auf.

[0038] An Stelle des beispielhaft gezeigten Schwenkverstellers 12 kann ein beliebiger Versteller eingesetzt werden, z.B. aus dem Stand der Technik bekannte, mit einer Schrägverzahnung versehene hydraulisch betätigte Axialkolbenversteller.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0039]

$B_{_n w c o e}$ Bit zur Freigabe der Berechnung des Betriebspunktes
 $B_{_n w i e}$ Bit für Auftreten einer Flanke des Schnellstartgeberrades (Interrupt)
 $B_{_n w v p o s}$ Bit für Verstellung der Nockenwelle in positiver Richtung (maximales Tastverhältnis für Verstellung in positiver Richtung aktiv)
 $B_{_n w v n e g}$ Bit für Verstellung der Nockenwelle in negativer Richtung (maximales Tastverhältnis für Verstellung in negativer Richtung aktiv)
 $B_{_n w v h e}$ Bit für Halten des Winkelwertes im Bereich des Bitsollwertes mit PI-Regelung (Haltetastverhältnis aktiv)
 $B_{_n w t v e}$ Bit für Reglerberechnung aktiv
 $d n n w e$ Winkel zwischen zwei auszuwertenden Flanken des Schnellstartgeberrades
 $d n n w X e$ X-ter Winkelwert, $X=1,2,3$
 $d t n w e$ Zeitabschnitt zwischen zwei auszuwerten-

den Flanken des Schnellstartgeberrades
 X -te Zeitabschnitt, $X=1,2,3$
Differenz: Winkelsollwert der Nockenwelle minus prädiktiver Winkelwert der Nockenwelle (Soll/Ist-Abweichung)
5 $\tan w n e$ Tastverhältnis zur Verminderung des Nockenwellenwinkels
 $\tan w p e$ Proportional-Anteil des Haltetastverhältnisses
10 $\tan w p s e$ Tastverhältnis zur Erhöhung des Nockenwellenwinkels
 $\tan w r e$ Tastverhältnis für Nockenwellenregelung
 $\tan w r h f e$ adaptiertes Haltetastverhältnis (Integralanteil)
15 $t m o t$ Motortemperatur
 $t n w i e$ Zeit eines Systemtimers bei Eintreffen einer Flanke des Schnellstartgeberrades
 $t n w t v$ Rechenzeitraaster
 $t t v i e$ Systemzähler
20 $t t v i e r$ Übernahmewert von $t t v i e$ bei Auftreten einer Flanke des Schnellstartgeberrades ($B_{_n w t v e} = TRUE$)
 $v n w d e$ Verstellgeschwindigkeit der Nockenwelle
 $v n w d z e$ Zwischenwert der Verstellgeschwindigkeit der Nockenwelle
25 $w n w g s d e$ Winkelwert + Prädikationswinkel (voraussichtlicher Winkel der Nockenwelle, welcher erreicht würde, wenn das Bit $B_{_n w v h e}$ auf $TRUE$ gehen würde)
30 $w n w g s e$ geschätzter Einlaßnockenwellenwinkel
 $w n w k r v e$ Korrekturwert für Nockenwellenwinkel wegen Zeitspanne zwischen Auftreten der Flanke des Schnellstartgeberrades und dem Berechnungszeitpunkt des Rechenrasttakts
35 $w n w p e$ Prädikationswinkel
 $w n w i s e$ Winkelwert der Nockenwelle
 $w n w i s e'$ geschätzter Winkelwert der Nockenwelle in Rechenrastern ohne Auftreten einer Flanke des Schnellstartgeberrades
40 $w n w s e$ Winkelsollwert der Nockenwelle
 $w s n w$ Wert für Fangbereich (wenn $B_{_n w h e} = TRUE$, d.h. wenn der Winkel gehalten wird)
45 $w s n r w$ reduzierter Wert für Fangbereich (wenn sich $w n w i s e$ an $w n w s e$ annähert)
 $z n w a d p e$ Adaptionwert für Ventilschließzeit bei positiver Verstellung
 $z n w a d n e$ Adaptionwert für Ventilschließzeit bei negativer Verstellung
50 $z n w v e$ Ventilschließzeit
 $z n w v p e$ Grenzwert der Ventilschließzeit bei positiver Verstellung
 $z n w v n e$ Grenzwert der Ventilschließzeit bei negativer Verstellung
55 10 Nockenwelle
12 Schwenkversteller
14 4/2-Proportionalwegeventil
16 Motorsteuergerät

18	Schnellstartgeberrad		128	Register
20	Nockenwellensensor		130	Multiplikation
22	Kette		132	Register
24	Erhebungen des Schnellstartgeberrades		134	Register
26	Ölkreislauf	5	136	Block: Freigabe der Berechnung des Betriebspunktes
28	Motorölpumpe			
30	Winkelwert		138	Block Soll-/Istwertvergleich ohne Prädiktionswinkel
32	Ventilschließzeit			
34	Berechnung der Verstellgeschwindigkeit vnwde	10	140	Rückkopplung
36	Integrator			
38	Modellbildung des Proportionalweventiles			Patentansprüche
40	Schalter			
42	Berechnung $wnwpe = znwve * vnwde$	15		
44	Berechnung $wnwpe + wnwise'$			
46	Soll-/Istwertvergleich			
48	Kennfeld			
50	Kennfeld			
52	Integrator	20		
54	Logik			
56	Rückkopplung			
58	Vorzeichenkorrektur			
60	Beobachter			
62	Geschwindigkeitsberechnung	25		
64	Adaption des Arbeitspunktes			
66	Fehlerbehandlung			
68	Ausgabe des Tatsverhältnisses			
70	Funktionszweig, IF-Bedingung wahr			
72	Block Verstellgeschw.-Berechnung	30		
74	Schieberegister Winkel			
76	Schieberegister Zeit			
78	Block: Aufsummieren Winkel			
80	Block: Aufsummieren Zeit			
82	Division	35		
84	Filter			
86	Berechnung Rechenraster			
88	Bestimmung Zeitspanne zwischen Flankensignal und Rechentakt			
90	Übergabe Zeitspanne	40		
92	Funktionszweig, IF-Bedingung falsch			
94	Integrator			
96	Zweig			
98	Multiplikation für Korrektur			
100	Addition	45		
102	Addition			
104	Subtraktion			
106	Bestimmung des Prädiktionswinkels			
108	Addition Korrekturwert			
110	Addition Korrekturwert	50		
112	Block: Prüfung ob Adaption notwendig ist			
114	Block: wie wird adaptiert			
116	Block: Lernwertbegrenzung			
118	Block: löschen der Adaption			
120	Auswahl Tastverhältnis	55		
122	Register			
124	Register			
126	Addition			

Patentansprüche

1. Verfahren zur Nockenwellenverstellung in einer Brennkraftmaschine, wobei die Nockenwelle bzgl. einer Kurbelwelle mittels eines von einem Regler und einem Proportionalventil betätigten Verstellers, vorzugsweise eines Schwenkverstellers um einen vorbestimmten Winkel verschwenkt wird, wobei der Regler einen Winkelsollwert mit einem Winkelwert vergleicht, in Abhängigkeit von diesem Vergleich eine Stellgröße in Form eines Tastverhältnisses für das Proportionalventil bestimmt und bei Übereinstimmung von Winkelsoll- und Winkelwert diese Stellgröße auf ein Haltetastverhältnis derart einstellt, daß der Winkelsollwert gehalten wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß während einer Verstellung der Nockenwelle vor einem jeweiligen Soll-/Istwertvergleich dem Winkelwert ein Prädiktionswinkel derart hinzuaddiert wird, daß die Summe aus Winkelwert und Prädiktionswinkel einem Winkel der Nockenwelle entspricht, den diese nach Umstellen der Stellgröße auf den Haltewert bis zum vollständigen Schließen des Proportionalventils während einer Ventilschließzeit erreicht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Prädiktionswinkel derart hinzuaddiert wird, daß durch die Prädiktion eine integrale Strecke mit Totzeit modelliert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß vor jedem Soll-/Istwertvergleich eine momentane Verstellgeschwindigkeit der Nockenwelle berechnet und der Prädiktionswinkel als Produkt aus Verstellgeschwindigkeit und Ventilschließzeit bestimmt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Verstellgeschwindigkeit aus einer Lageänderung zwischen zwei zugehörigen Flanken eines der Nockenwelle zugeordneten Schnellstartgeberrades berechnet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß über alle Flankenwechsel einer vollständigen Umdrehung des Schnellstartgeberrades gemittelt wird.

6. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf der Grundlage eines Rechenrasters bei jedem Rechentakt ein Soll-/Istwertvergleich durchgeführt wird. 5
7. Verfahren nach Anspruch 6 und wenigstens einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Auftreten eines Flankensignals vom Schnellstartgeberrad eine Position der Nockenwelle bestimmt wird und eine sich daraus ergebende Winkeldifferenz zwischen Nockenwelle und Kurbelwelle als Winkelwert gesetzt wird, wobei dieser Winkelwert zusätzlich mit einer Winkelkorrektur versehen wird, die aus der Zeitspanne zwischen dem Auftreten des Flankensignals und dem Rechentakt sowie aus der Verstellgeschwindigkeit berechnet wird. 10
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7 und wenigstens einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Ausbleiben eines Flankensignals vom Schnellstartgeberrad zwischen zwei Rechentakten der neue Winkelwert aus dem beim letzten Rechentakt erhaltenen Winkelwert zusammen mit einer Winkelkorrektur bestimmt wird, wobei die Winkelkorrektur aus der Verstellgeschwindigkeit und der Dauer eines Rechentaktes berechnet wird. 15
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß vor jedem Soll-/Istwertvergleich in Abhängigkeit von einer Motortemperatur aus einem Kennfeld eine maximale Ventilschließzeit bestimmt wird. 20
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß für unterschiedliche Schwenkrichtungen der Nockenwelle die Ventilschließzeit aus unterschiedlichen Kennfeldern bestimmt wird. 25
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß ab dem Beginn einer Verstellung der Nockenwelle die Ventilschließzeit von Null bis höchstens zum maximalen bzw. minimalen Wert mittels Integration verändert wird. 30
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß ab dem Umstellen der Stellgröße auf das Haltetastverhältnis die Ventilschließzeit vom letzten Wert auf Null integriert wird. 35
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine jeweils bestimmte Ventilschließzeit mit einem Vorzeichen derart versehen wird, daß der sich aus dem Produkt aus Ventilschließzeit und Verstellgeschwindigkeit ergebende Prädiktionswinkel eine solches Vorzeichen hat, daß sich bei Addition mit dem Winkelwert eine Betragsänderung des Winkelwertes in Richtung des Winkelsollwertes ergibt. 40
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Haltetastverhältnis, das Tastverhältnis zum Verstellen in eine Richtung und das Tastverhältnis zum Verstellen in die entgegengesetzte Richtung vorbestimmt werden. 45
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß oberhalb und unterhalb des Sollwertes ein Fangbereich mit vorbestimmter Breite vorgesehen wird, wobei bereits dann auf das Haltetastverhältnis umgeschaltet wird, wenn der um den Prädiktionswinkel ergänzte Winkelwert in den Fangbereich hinein fällt. 50
16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß während der Verstellung der Nockenwelle auf einen neuen Winkel der Fangbereich kleiner gewählt wird als während des Haltens des Winkelsollwertes mit dem Haltetastverhältnis. 55

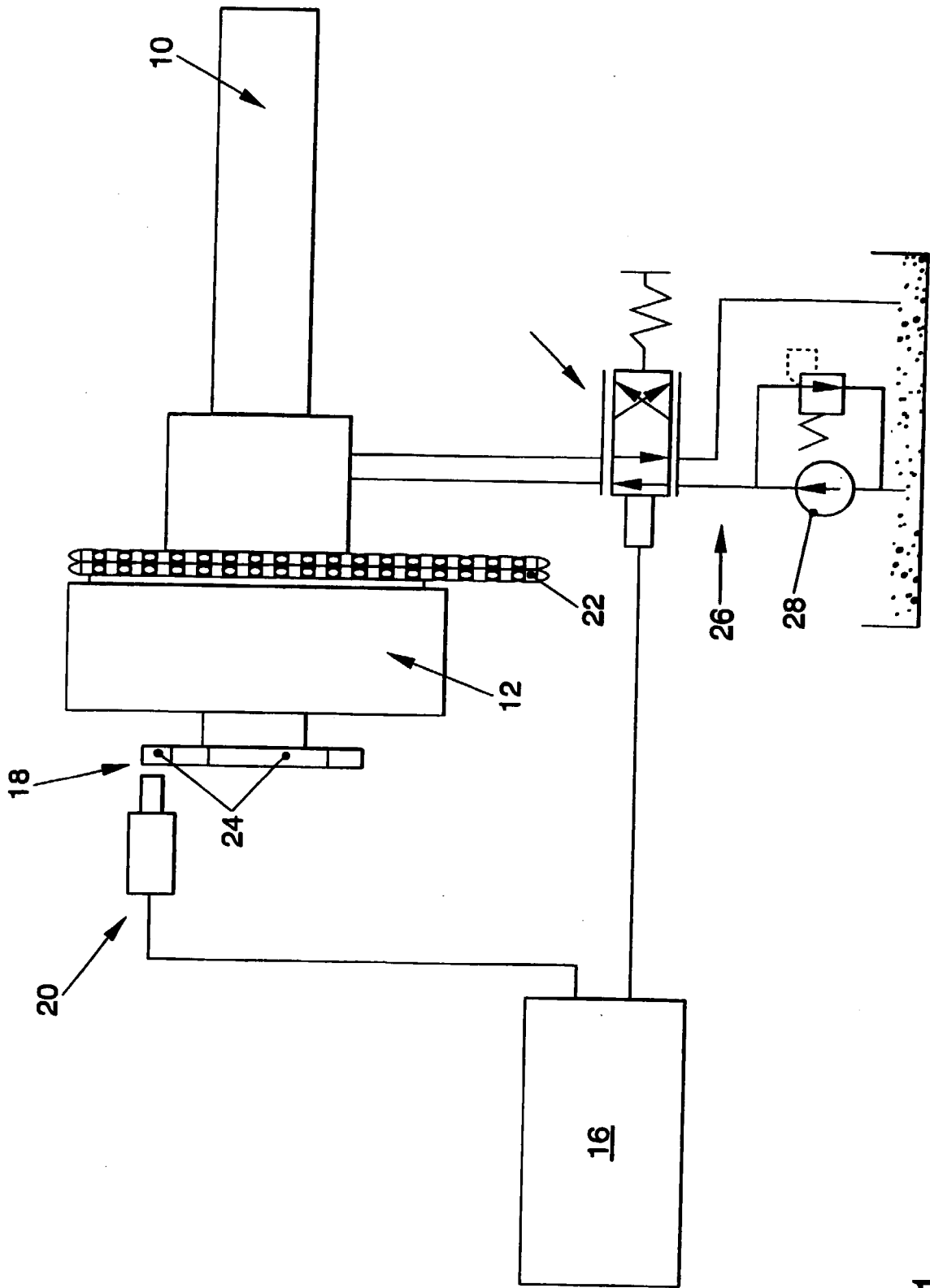


FIG. 1

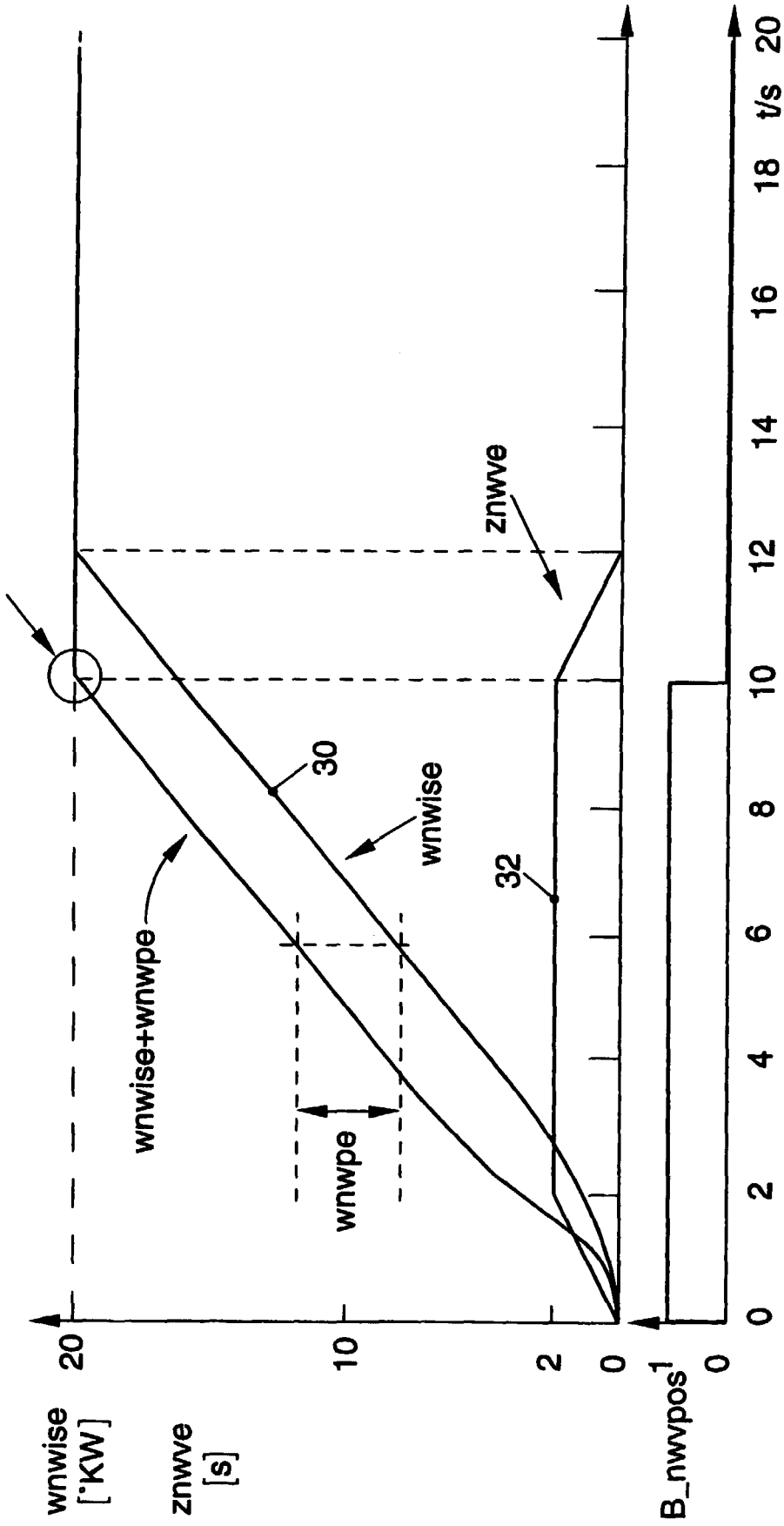


FIG. 2

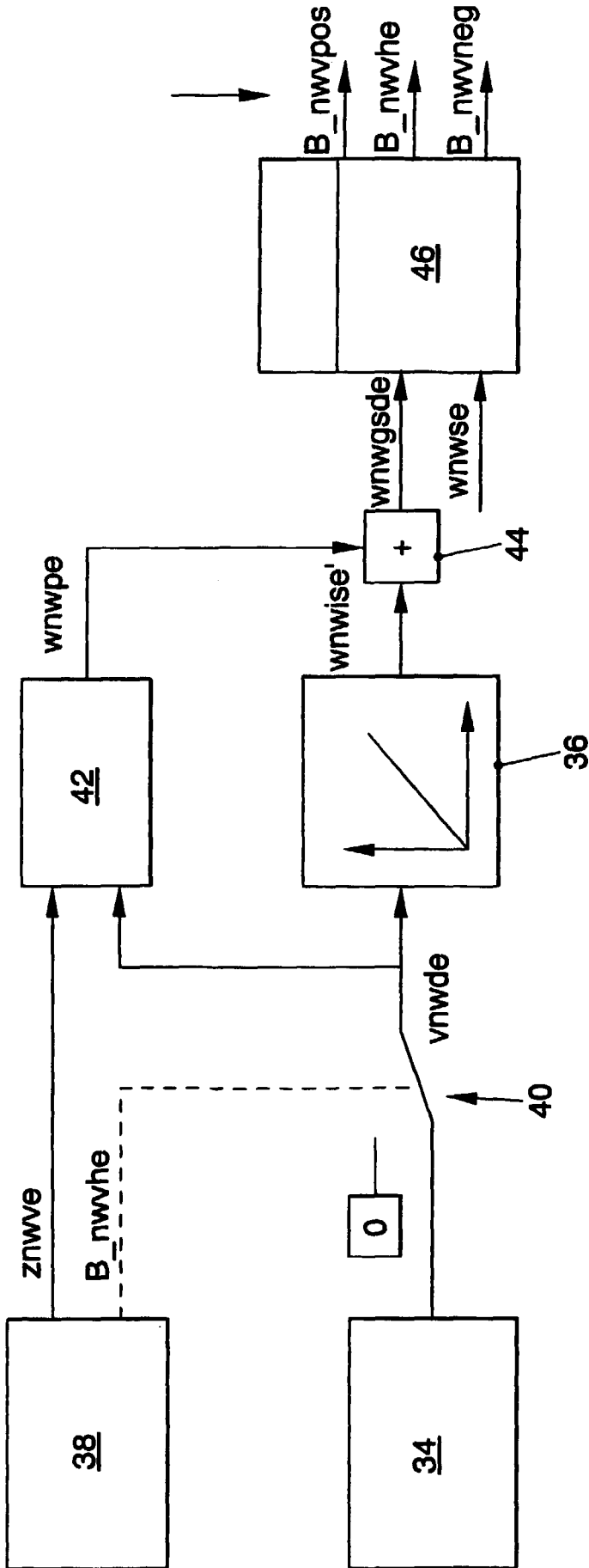


FIG. 3

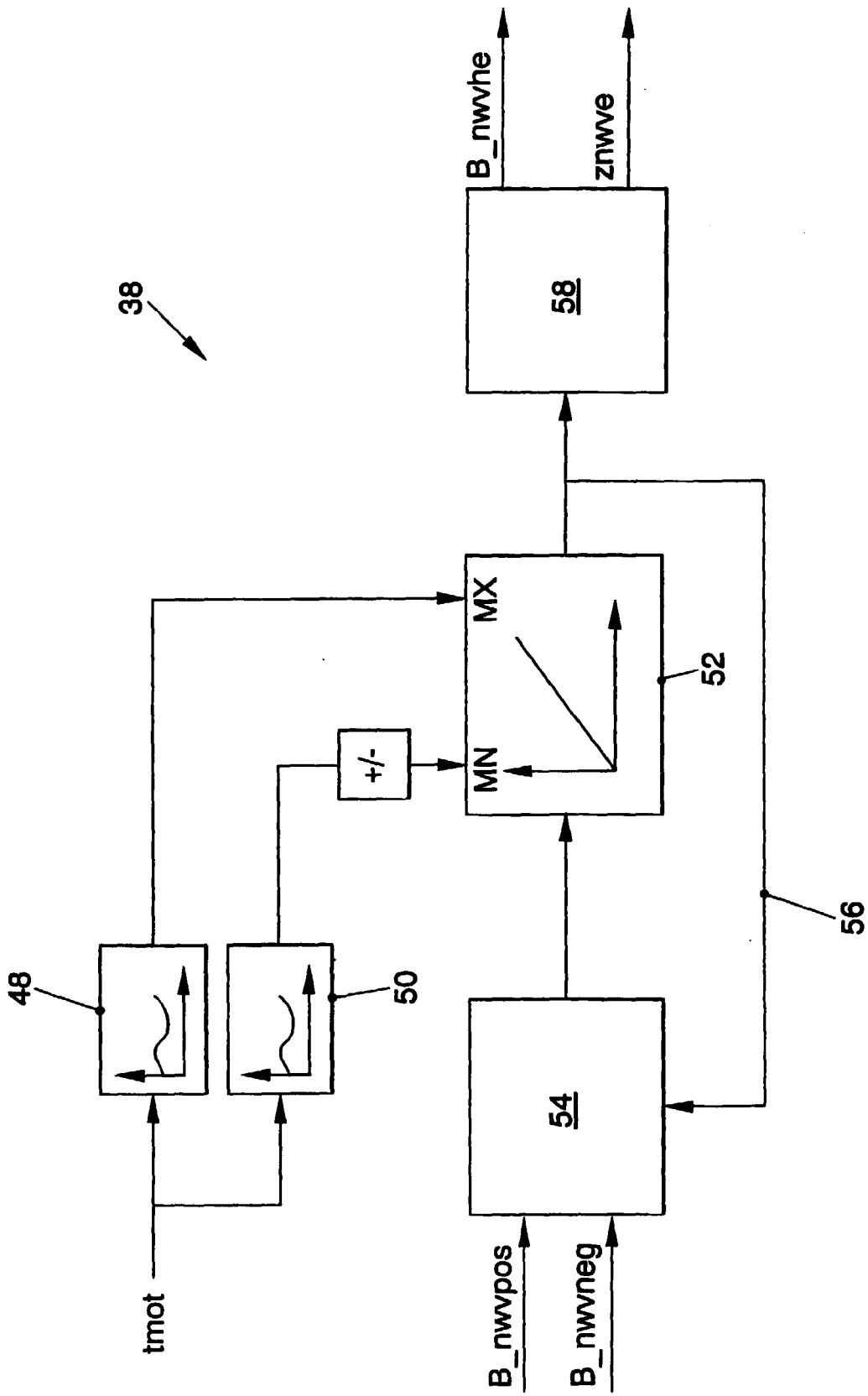


FIG. 4

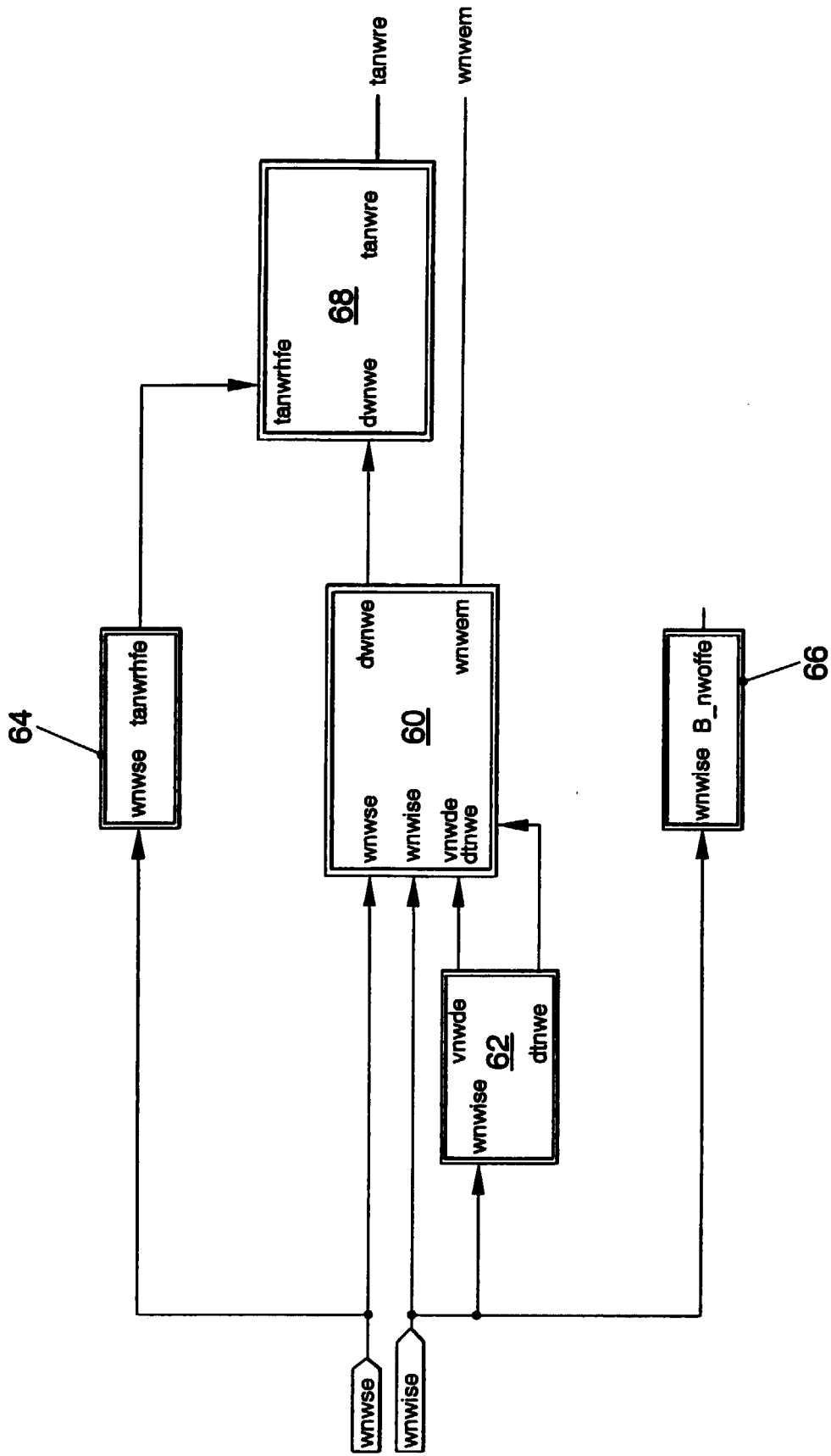


FIG. 5

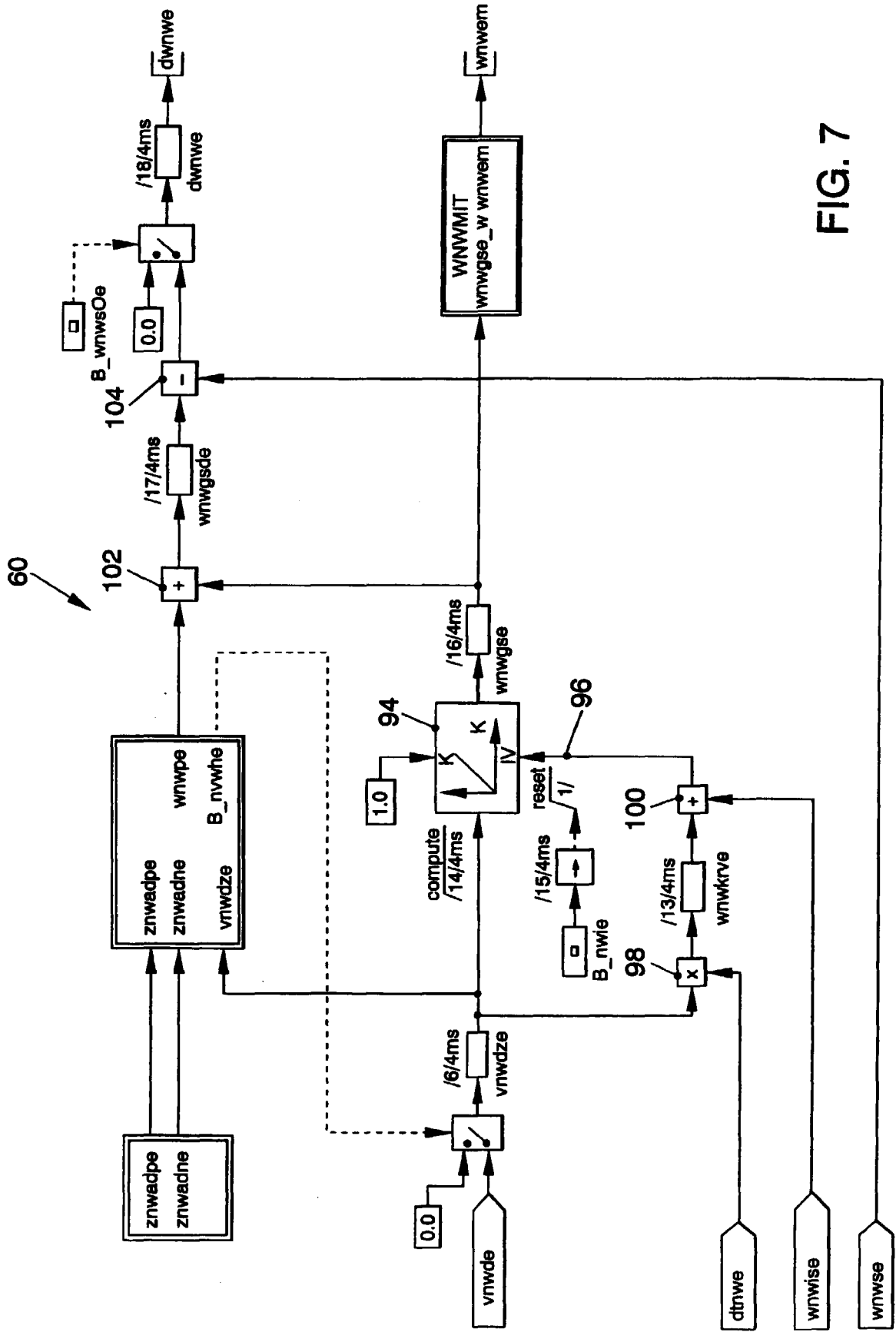


FIG. 7

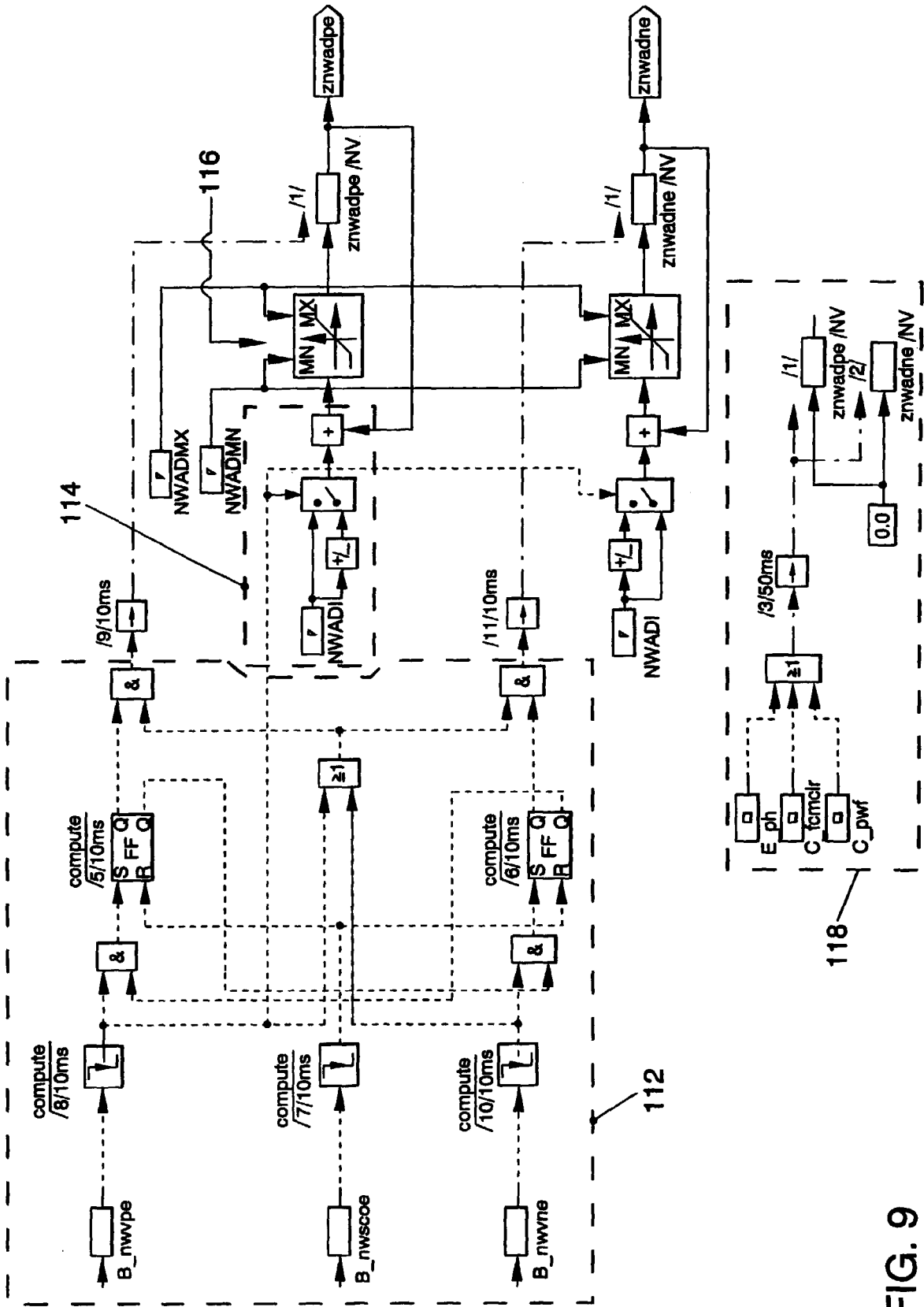


FIG. 9

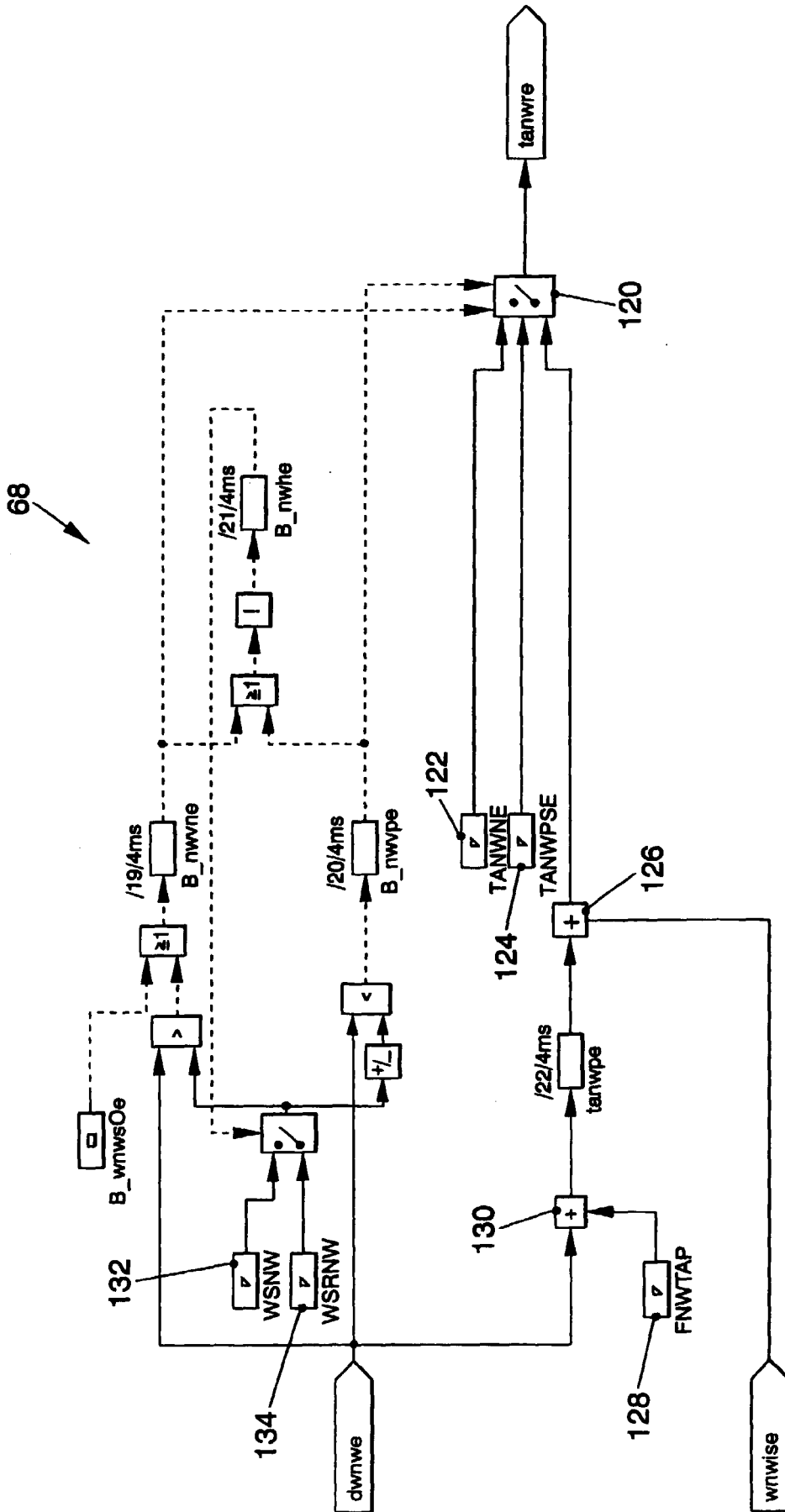


FIG. 10

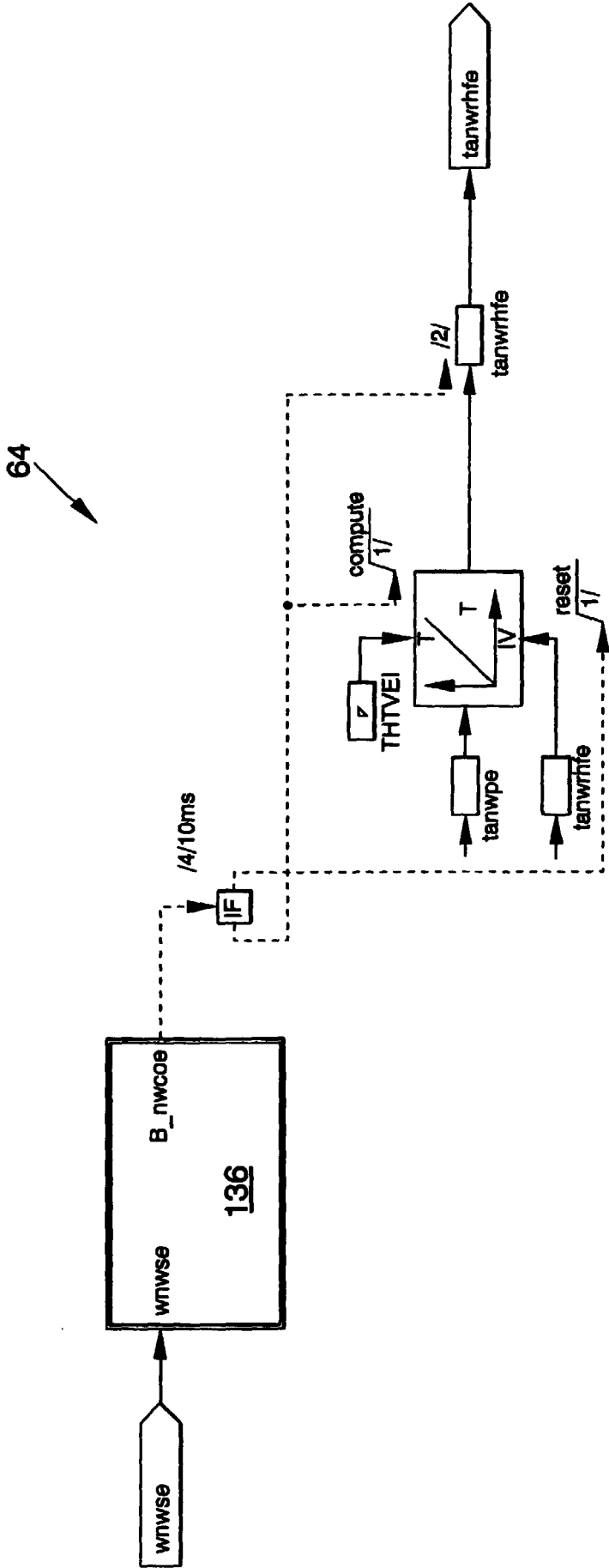


FIG. 11

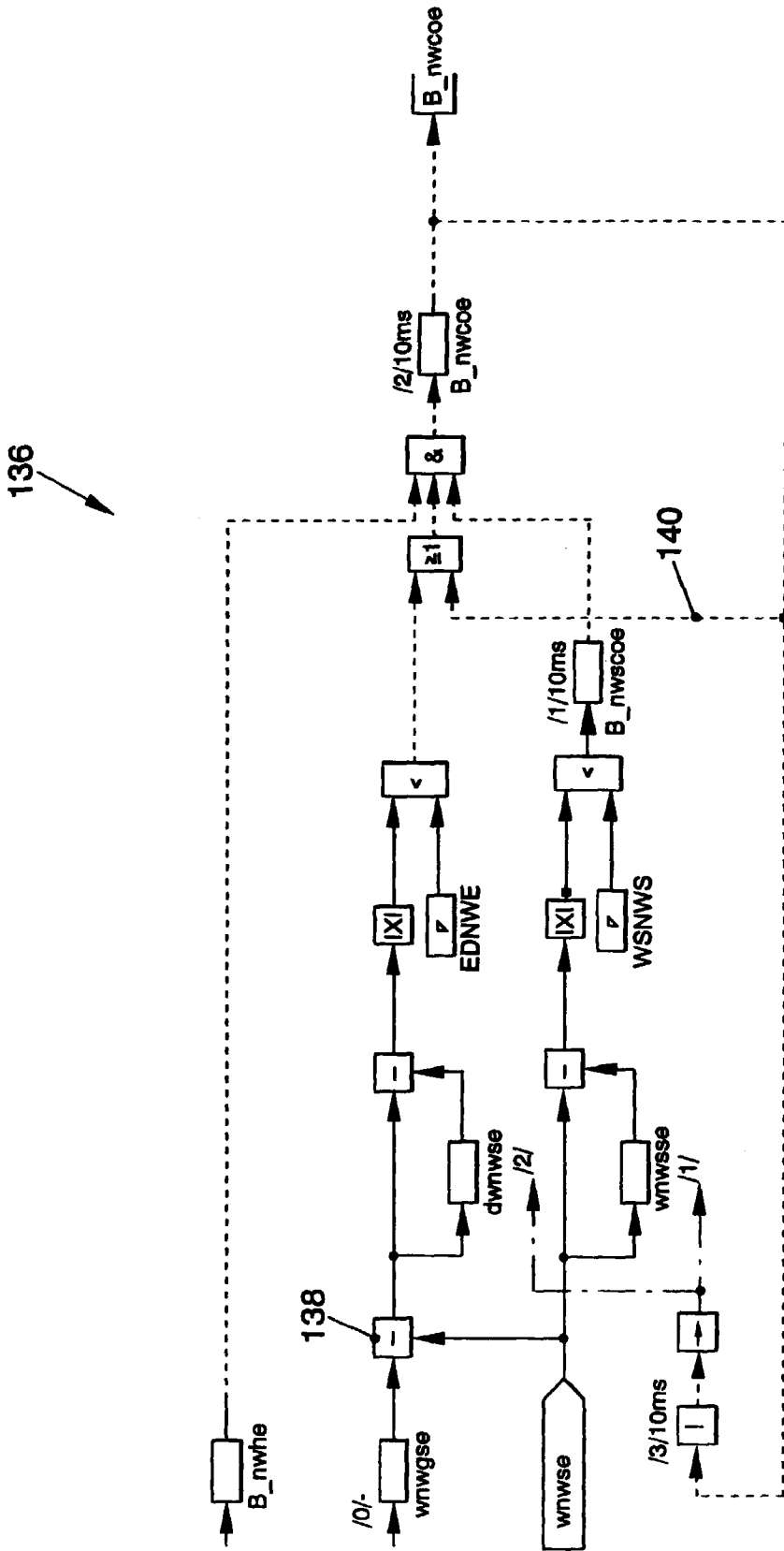


FIG. 12