

6.1 Wirkungsweise

Die Wirkungsweise von Transduktoren oder magnetischen Verstärkern (Magnetverstärker) beruht auf der Ausnutzung der magnetischen Kennlinie von ferromagnetischen Werkstoffen, insbesondere derer, die eine ausgeprägte Sättigung aufweisen. Dieses nichtlineare Verhalten ist in Form der Hystereseschleife allgemein bekannt und zeigt, dass selbst bei erheblicher Steigerung der Feldstärke ein bestimmter Sättigungswert kaum zu überschreiten ist. Hauptbestandteil eines Transduktor ist ein bewickelter Eisenkern, der in sich geschlossen ist, um die magnetische Sättigung möglichst wenig durch Luftspaltinflüsse zu schwächen. Somit stellt ein solcher Transduktor einen induktiven Widerstand dar, dessen Größe von den magnetischen Eigenschaften sowie der konstruktiven Ausführung des Kernes abhängt. Da der Transduktor in seinem prinzipiellen Aufbau dem eines Transformators gleicht, wird bei der Herstellung von Transduktoren auf die langjährigen Erfahrungen des Transformatorbaues zurückgegriffen, so dass sich das Transduktor-Bauteil durch seine Robustheit bei praktisch unbegrenzter Lebensdauer auszeichnet. Wird nun eine Transduktordrossel in Reihe mit einem Verbraucher an die Netzspannung angeschlossen, so kann mit einem Gleichstrom kleiner Leistung die Leistung am Verbraucher stufenlos verändert werden. Die Ausgangsspannung am Transduktor kann eine Wechselspannung oder unter Nachschaltung eines Gleichrichters eine Gleichspannung sein.

Auf Grund der verschiedenen Schaltungsarten von Transduktoren, sowie des gewünschten Transduktorausganges, sind diese in den meisten Anwendungsfällen mit Trockengleichrichtern ausgerüstet. Die verschiedenen Schaltungsarten werden im nachfolgenden Text kurz erläutert.

6.2 Anwendungen

Die Anwendung der Transduktoren in Steuer- und Regelkreisen ist praktisch unbeschränkt, wobei ihr Einsatz überall dort besonders gerechtfertigt ist, wo unbegrenzte Lebensdauer, Wartungsfreiheit, sofortige Betriebsbereitschaft sowie Lage- und Erschütterungsunempfindlichkeit Voraussetzung für das einwandfreie Arbeiten einer Anlage ist.

Sie werden unter anderem als Endverstärker, Zwischenverstärker, Vorverstärker, Messwertverstärker sowie als Regelverstärker mit PID-Verhalten für die verschiedensten Steuerungs- und Regelungsprobleme wie z. B. die Regelung bzw. Steuerung von Spannung, Strom, Leistung, Drehzahl, Temperatur usw. herangezogen.

Zu den typischen Anwendungen gehören alle jene Fälle, die das typische Verhalten des stromsteuernden Transduktors ausnützen. Hier ist vor allem die Konstanthaltung von Strömen für Heiz- oder Lichtbogenlampen zu erwähnen oder auch die Helligkeitssteuerung von Leuchtröhren. Der Transduktor kann auch zur Kurzschlussstrombegrenzung eingesetzt werden, wie dies z. B. bei der Stromversorgung von Senderöhren oder Hochspannungsfiltern der Fall ist.

6.3 Aufbau

Jeder Transduktor besteht aus zwei magnetisch getrennten Transduktordrosseln (Einzeldrosseln). Auf jeder Drossel befindet sich eine Arbeitswicklung, die für die halbe Transduktorleistung ausgelegt ist und entweder Wechsel- oder Halbwellenstrom führt.

Der Aufbau einer Transduktor-Einzeldrossel wird in Bild 6.3.1 dargestellt. Hierbei ist darauf zu achten, dass die von der Lastwicklung in den Steuerwicklungen induzierten Spannungen durch gegensinnige Zusammenschaltung der Steuerwicklungen aufgehoben werden.

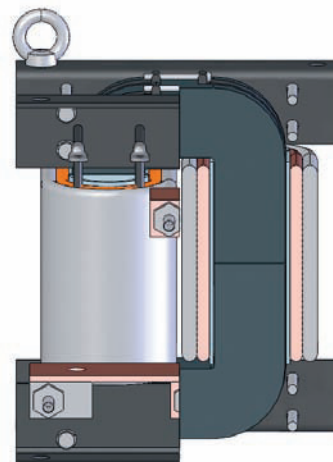


Bild 6.3.1: Kern- und Wicklungsaufbau einer Transduktor-Einzeldrossel

Bei positivem Potential an den Steuerwicklungen öffnet der Transduktor, und umgekehrt ist er gesperrt. Vorgenanntes trifft jedoch nur für sämtliche spannungssteuernden Transduktoren zu, da die stromsteuernden Transduktoren eine richtungsunabhängige Aussteuerung besitzen. Näheres ist unter Spannungs- und Stromsteuernde Transduktoren ausgeführt. Bei den übrigen Transduktor-Typen (spannungssteuernd), die aus ebenfalls zwei Einzeldrosseln bestehen, wurde der Aufbau so vorgenommen, dass sich die Spannungen in den Steuerwicklungen bereits aufheben.

Die konstruktive Ausführung ist aus Bild 6.3.2 zu ersehen.

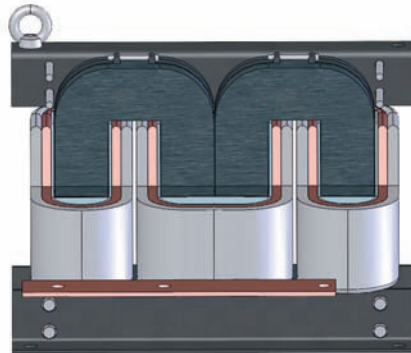


Bild 6.3.2: Kern- und Wicklungsaufbau eines Transduktors, bestehend aus zwei zusammengeführten Kernen

Hierbei sind zwei Kerne konstruktiv so zusammengefügt, dass sich ein Dreischenkelkern ergibt, bei dem die beiden äußeren Schenkel mit je der halben Lastwicklung und der mittlere Schenkel mit den Steuerwicklungen bewickelt ist. Punkt o Aussteuerung gilt dasselbe wie bei den Transduktoren, bestehend aus zwei Einzeldrosseln.

6.4 Spannungssteuernde Transduktoren

Spannungssteuernde Transduktoren sind Verstärker, deren Ausgangsspannung sich durch eine leistungsschwächere Eingangsgröße steuern lässt, wobei die Ausgangsgröße im Wesentlichen nur von der Eingangsgröße abhängig ist. Die spannungssteuernden Transduktoren lassen sich auf das Prinzip der Selbstsättigungsschaltung zurückführen, die, wie der Name bereits sagt, sich durch ihren eigenen Ausgangsstrom in Sättigung bringen. Um die Arbeitsweise des spannungssteuernden Transduktor besser zu verstehen, sei zunächst die einphasige Schaltung nach Bild 6.4.1 betrachtet.

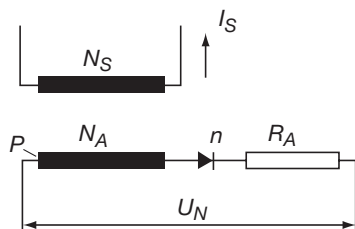


Bild 6.4.1: Einphasiger spannungssteuernder Transduktor

Es ist eine Reihenschaltung der Drossel p mit der Arbeitswindungszahl N_A , dem Gleichrichtervertil n sowie dem Ausgangswiderstand R_A , die an der Wechselspannung U_N liegt. Die Drossel besitzt noch eine Steuerwicklung mit der Windungszahl N_S , die vom Steuerstrom I_S durchflossen wird.

Für die Betrachtung sei eine rechteckförmige Hystereseschleife angenommen (Bild 6.4.2) sowie von folgenden vereinfachten Voraussetzungen ausgegangen.

- Die Arbeits- und Steuerwicklungen seien verlustlos und hätten gleiche Windungszahlen.
- Der Gleichrichterwiderstand sei in Sperrichtung unendlich groß und in Durchlassrichtung Null.
- Die Drossel ist so ausgelegt, dass von ihr die Halbwelle der Wechselspannung gesperrt werden kann.
- In der Steuerwicklung fließt kein Strom.

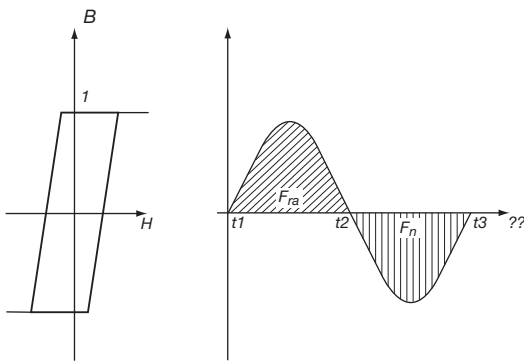


Bild 6.4.2

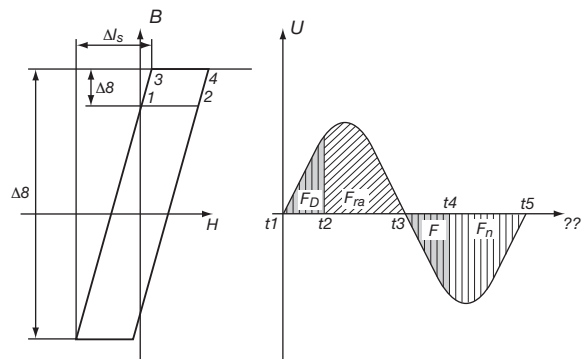


Bild 6.4.3

Wenn man nun annimmt, dass sich im Zeitpunkt t_1 die Drossel in Sättigung Punkt 1 befindet, so kann einer positiven Halbwelle kein Widerstand entgegengesetzt werden, so dass der Strom nur vom Widerstand R_a begrenzt wird. Dieser Strom treibt die Drossel noch mehr in Sättigung, so dass sie keine Spannung aufnehmen kann und diese somit als Fläche F_{ra} am Widerstand abfällt. Im Zeitpunkt t_2 ist der Strom und die Spannung gerade Null und die Drossel befindet sich wieder im Punkt 1. Die negative Halbwelle wird vom Gleichrichter n als Fläche F_n aufgenommen und verhindert eine Stromumkehr. Die Spannung am Widerstand R_a ist gleich Null. Vom Zeitpunkt t_3 an wiederholt sich der Vorgang. Fließt in der Steuerwicklung ein Strom I_S , so bewirkt dieser eine Verschiebung des Koordinatenkreuzes in horizontaler Richtung.

Fließt z.B. ein Steuerstrom so durch die Steuerwicklung, dass die selbstsättigende Wirkung des Gleichrichters n unterstützt wird, so entspricht dies einer Verschiebung des Achsenkreuzes nach rechts, d.h. die Drossel kommt dadurch noch mehr in Sättigung. Bei entgegengesetzter Steuerstromrichtung verschiebt sich das Achsenkreuz nach links, so dass sich nach Bild 5 ein Schnittpunkt zwischen der Abszisse und dem linken Ast der Hystereseschleife Punkt 1 ergibt. Befindet sich also die Drossel im Punkt 1, so ist sie im ungesättigten Teil, so dass die positive Halbwelle nunmehr keinen so großen Strom hervorrufen kann.

Im ersten Moment erscheint die fast volle Spannung an der Drossel und bewirkt eine Aufmagnetisierung dieser über Punkt 2 nach Punkt 3 hin. Im Zeitpunkt t_2 ist die Drossel in Sättigung Punkt 3 und kann somit keine Spannung mehr übernehmen, so dass der Rest der Halbwelle, die Fläche F_{ra} am Widerstand R_a abfällt. Vom Zeitpunkt t_1 - t_2 , also der Aufmagnetisierung, kann die Drossel entsprechend der Induktionsänderung ΔB eine Spannung aufnehmen entsprechend der Fläche F_D und es fließt nur ein kleiner Magnetisierungsstrom, der am Widerstand R_a nur einen kleinen Spannungsabfall hervorruft. Im Zeitpunkt t_3 ist der Punkt 4 erreicht und es beginnt die Abmagnetisierung, hervorgerufen durch die negativ anliegende Halbwelle, und zwar so weit, bis Punkt 1 erreicht ist.

Für die Rückmagnetisierung wird eine Spannungszeitfläche F benötigt, die der Fläche F_D , also der Aufmagnetisierungszeitfläche entspricht. Die Rückmagnetisierung ist im Zeitpunkt t_4 beendet, und ab da übernimmt wieder der Gleichrichter die Spannung Fläche F_n . Im Zeitpunkt t_5 wiederholt sich der Vorgang. Bei noch größeren Steuerströmen wird der Punkt 1 so weit auf der Hystereseschleife nach unten verschoben, bis die Drossel in der Lage ist, die gesamte Spannungszeitfläche aufzunehmen. Am Widerstand R_a stellt sich ein Spannungsminimum ein. Somit ist es möglich, die Spannung am Widerstand mit Hilfe eines Steuerstromes zwischen einem Minimum und Maximum einzustellen.

Der Steuerstrom liegt in der Größenordnung des Magnetisierungsstromes der Arbeitswicklung entsprechend Bild 6.4.3 ΔI_S . Man sieht daraus, dass der Steuerstrom umso kleiner wird, je steiler die Hysteresekurve, d.h. je besser die Blechqualität ist. In der Praxis jedoch erreicht man keine vollständige Sättigung mit dem Gleichrichter n , da in Sperrichtung Sperrströme fließen, die bereits einen Einfluss auf die Selbstsättigung haben. Hinzu kommt, dass die Eisenbleche keine rechteckige, sondern gekrümmte Magnetisierungskurve aufweisen.

Außerdem bewirken die vorhandenen Blind- und Wirkwiderstände der Drossel sowie der Innenwiderstand des Gleichrichters einen merklichen Abfall der Ausgangsspannung. Wird das Achsenkreuz durch einen noch größeren Strom J_S nach links verschoben, dann steigt die Spannung linear wieder an, wobei der Anstieg sehr flach

ist, da der Verstärker in diesem Bereich stromsteuernde Eigenschaften aufweist, d.h. einem bestimmten Steuerstrom ist ein bestimmter Laststrom zugeordnet, unabhängig vom Ausgangswiderstand R_A , sofern der Regelbereich des Transduktor dies zulässt.

6.5 Stromsteuernde Transduktoren

Stromsteuernde Transduktoren haben das Verhalten einer Konstantstromquelle mit sehr hohem Innenwiderstand. Die Verstärkung ist wesentlich geringer als bei den spannungssteuernden Transduktoren, so dass sie vorwiegend als Konstantstromquellen oder als Gleichstromwandler Verwendung finden. Während bei dem Gleichstromwandler die Arbeitswicklungen in Reihe geschaltet sind und der Steuerkreis hochohmig gehalten wird, sind bei den anderen Schaltungen die Arbeitswicklungen parallel geschaltet.

Der Vorteil der Parallelschaltung gegenüber der Reihenschaltung der Arbeitswicklungen liegt darin, dass bei dieser die in den Steuerwicklungen induzierten Spannungen bei entsprechender Zusammenschaltung sich gegenseitig aufheben.

Bei den stromsteuernden Transduktoren wird in den meisten Fällen nur eine einzige Steuerwicklung aufgebracht, da sie hauptsächlich als Endstufe eingesetzt werden. Die Aussteuerung erfolgt richtungstunabhängig entsprechend der Steuerkennlinie nach Bild 4.

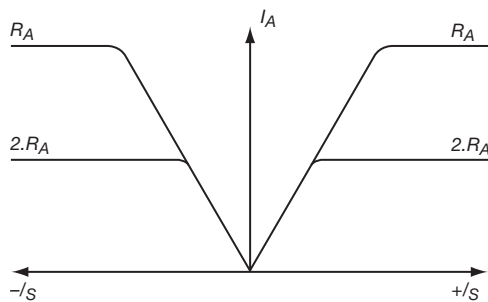


Bild 6.5.1: Steuerkennlinie von stromsteuernden Transduktoren

Eine weitere Schaltungsmöglichkeit ist die des stromsteuernden Transduktors in Sparschaltung nach Bild 6.5.2. Bei der Sparschaltung entfällt die Steuerwicklung, da die Aussteuerung direkt über die Arbeitswicklung vorgenommen wird. Die Steuerströme bewegen sich demnach in der Größenordnung der Lastströme. Der durch den Fortfall der Steuerwicklung freie Wickelraum wird durch eine stärkere Arbeitswicklung ersetzt, so dass in der Sparschaltung mit wesentlich größeren Durchgangsleistungen gerechnet werden kann. Dreiphasige Schaltungen sind ebenso möglich.

Die Arbeitsweise der stromsteuernden Transduktoren erlaubt sogar einen Kurzschluss, ohne dass der Strom nennenswert über den durch die Steuerung vorgegebenen Wert ansteigt. Ein zu großer Ausgangswiderstand bringt den Transduktor an die Grenze des Arbeitsbereiches, so dass bei einem bestimmten Strom die Ausgangsspannung nur bis zur Speisespannung abzüglich des Abfalles in den Drosseln ansteigt. Steigt der Widerstand noch mehr, dann sinkt jetzt auch der Strom ab.

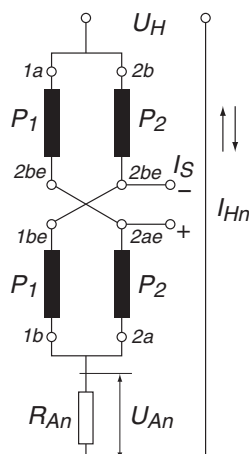


Bild 6.5.2: Stromsteuernder Transduktor einphasig in Sparschaltung