

Capteurs innovants en technique agricole

Les machines agricoles modernes sont équipées de nombreux capteurs. Cet article a pour but de donner un aperçu des différentes familles de capteurs, sans pour autant prétendre à l'exhaustivité.

Ces dernières années, les capteurs ont évolué très rapidement. On en trouve de plus en plus souvent dans les commandes moteur, les boîtes de vitesses, mais aussi dans les leviers qui doivent faire l'objet d'une surveillance proportionnelle ou numérique. Ils sont donc omniprésents dans nos machines.

Capteurs de régimes :

• Capteurs à effet Hall

Les capteurs à effet Hall se composent d'une plaquette à effet Hall (plaquette semi-conductrice en cristallin), d'un corps ferromagnétique et d'un transistor bipolaire pour l'amplification intégrée du signal.

Le capteur a donc toujours besoin d'une alimentation électrique positive et négative de 5 V ou 12 V (on utilise également des versions 24 V sur les poids-lourds) et d'une borne pour le signal de sortie. Sous l'effet de la modification du champ magnétique, la plaquette à effet Hall alimentée en tension génère un signal qui est ensuite récupéré.

Il existe deux grands types de capteurs à effet Hall. Le premier utilise un transistor de type NPN, qui transmet un signal par mise à la masse. Le signal peut donc être 0-5 V ou 0-12 V, quelle que soit la tension d'alimentation. Pour le diagnostic, il est important d'en tenir compte et de brancher correctement l'oscilloscope ou un faible lampe témoin LED pour le diagnostic.

Le second type utilise un transistor PNP. Il est également alimenté positivement et négativement, mais cette fois, il fournit lui-même la tension de signal. La tension de signal est donc identique à sa tension d'alimentation.

Il faut noter que ces capteurs émettent un signal d'une puissance de quelques mA. Il est donc important de n'utiliser qu'un multimètre, un oscilloscope ou une lampe témoin à LED lors du

contrôle. L'utilisation d'une lampe témoin à filament risque d'endommager le boîtier ou le capteur.

Il est également important de brancher une résistance en série avec le signal (p.ex. 1 k Ω) lorsque le capteur est contrôlé sur une installation d'essai. En règle générale, la résistance limitant le courant est montée dans le boîtier électronique et non dans le capteur.

En modifiant l'interne de ces capteurs, il est également possible de déterminer le sens de rotation de la cible en plus de l'angle de rotation.

Les capteurs offrant ces possibilités disposent en interne de deux éléments à effet Hall en léger décalage. La cible magnétique opposée rencontre un capteur avant l'autre, ce qui permet de déterminer le sens de rotation. Ces capteurs utilisent donc une électronique interne complexe pour former le signal de sortie. Une vérification complète du capteur avec un multimètre n'est donc plus possible. Même avec un oscilloscope, le contrôle est exigeant. Dans certains cas, le signal peut même être mis en forme afin de fournir les informations directement sur un bus de données.

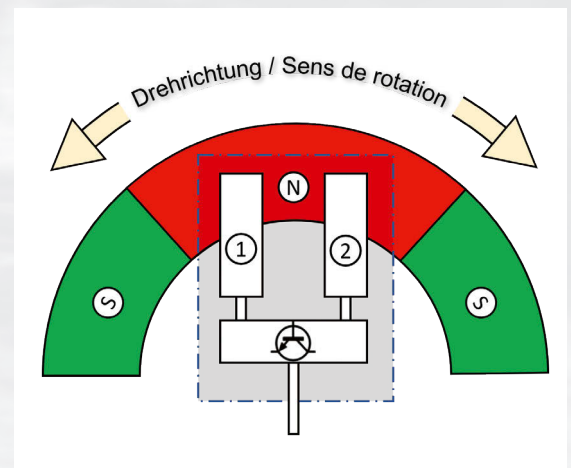
• Capteurs inductifs

Les capteurs inductifs utilisent une bobine de cuivre d'une résistance d'environ 1 k Ω , au centre de laquelle se trouve un aimant. Lorsqu'une roue dentée passe devant le capteur, cela dévie le champ magnétique de l'aimant, ce qui modifie le champ magnétique et crée une induction dans la bobine. Le capteur n'utilise donc aucune tension externe et génère lui-même sa tension.

Les capteurs inductifs sont divisés en capteurs « bipolaires » et « unipolaires ». Les capteurs bipolaires sont moins sensibles au faux-ronde de la cible, ce qui améliore la qualité du signal. Il existe différentes alternatives pour vérifier un capteur inductif. La méthode la plus efficace utilise un oscilloscope. En effet, le signal mesuré permet de savoir avec

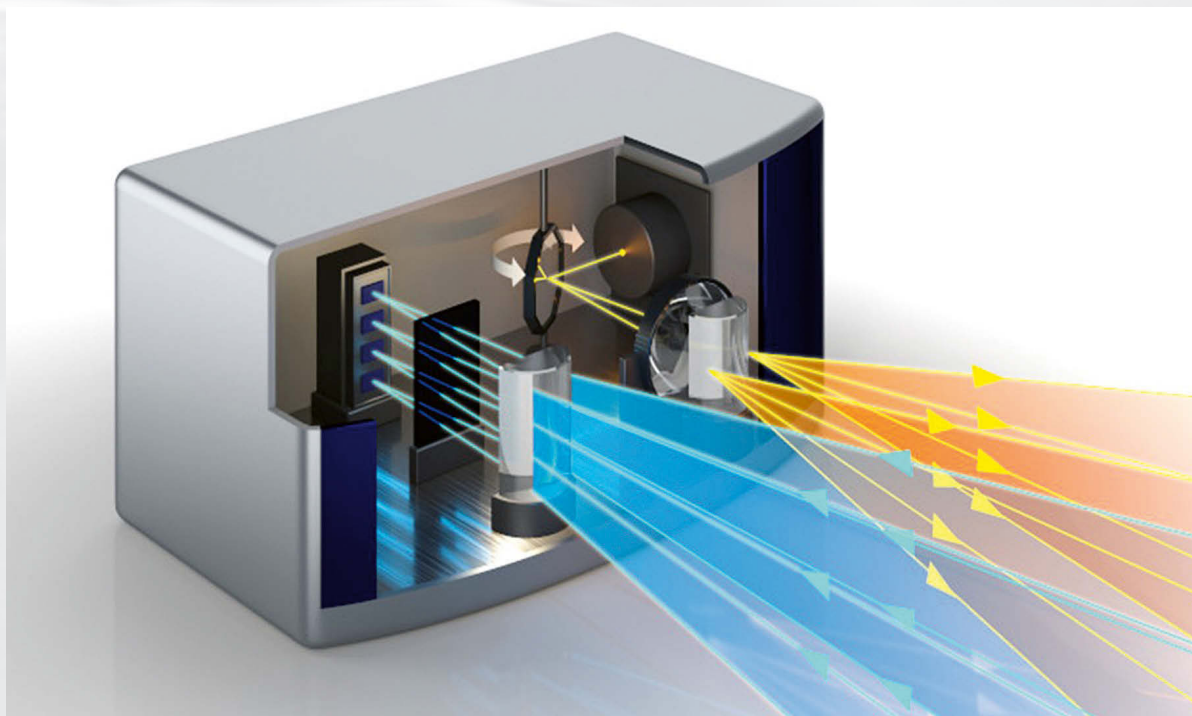
Hallsensor mit Drehrichtungserkennung
Capteur à effet Hall avec reconnaissance du sens de rotation

- 1 Hallsensor 1 / capteur à effet Hall 1
- 2 Hallsensor 2 / Capteur à effet Hall 2



Innovative Sensoren in der Landtechnik

Moderne Landmaschinen sind mit vielen Sensoren ausgerüstet. Dieser Artikel soll eine Übersicht über die verschiedenen Sensorenfamilien darstellen, ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit zu haben.



LiDaR Sensor der Firma Schott AG
 Capteur LiDaR de l'entreprise Schott AG
 ©by Schott AG

In den letzten Jahren hat sich die Sensorik sehr schnell entwickelt. Wir finden sie immer häufiger in der Motorsteuerung, Schaltgetrieben oder auch in Hebeln und Gestängen, welche proportional oder digital überwacht werden müssen. Sie sind also in unseren Maschinen allgegenwärtig.

• Hall-Sensoren

Hall-Sensoren bestehen aus einem Hall-Plättchen (kristallines Halbleiter-Plättchen), einem Ferromagneten und einem bipolaren Transistor zur integrierten Signalauswertung.

Der Sensor benötigt also immer eine positive und negative Stromversorgung, die 5V oder 12V beträgt (Im LKW-Bereich werden auch 24V Versionen verwendet), und einen Anschluss für das Ausgangssignal. Das mit Spannung versorgte Hall-Plätt-

chen erzeugt durch das sich veränderte Magnetfeld ein Signal, welches zurückgewonnen wird.

Es gibt zwei Hauptarten von Hall-Sensoren. Die erste verwendet einen Transistor vom Typ NPN und überschreibt daher eine Spannung mit der Masse. Das Signal kann also 0-5V oder 0-12V sein, egal wie hoch die Versorgungsspannung ist. Für die Diagnose ist es wichtig, dies zu beachten und das Oszilloskop oder eine schwache LED-Lampe für die Diagnose richtig anzuschliessen.

Die zweite Art verwendet einen PNP-Transistor. Er wird ebenfalls positiv und negativ gespeist, aber diesmal liefert er die Signalspannung selbst. Die Signalspannung ist daher identisch mit seiner Versorgungsspannung.

Es ist zu beachten, dass diese Sensoren ein Signal mit einer Stärke von einigen mA aussenden. Daher ist es wichtig, dass bei der Überprüfung nur ein Multimeter, ein Oszilloskop oder eine LED-Lampe verwendet wird. Im Falle der Verwendung einer Kontrolllampe könnte das Gehäuse oder der Sensor zerstört werden.

Es ist auch wichtig, einen Widerstand in Reihe zum Signal zu schalten (z.B. 1k Ω), wenn der Sensor an einen Prüfaufbau überprüft wird. Der strombegrenzende Widerstand ist in der Regel in der Elektronikbox, und nicht im Sensor verbaut.

Eine Weiterentwicklung dieser Sensoren ermöglicht auch die Kontrolle der Drehrichtung und die Messung von Winkeländerungen.

Sensoren mit diesen Möglichkeiten besitzen intern zwei leicht versetzte Hall-Elemente. Das gegenüberlie-

certitude si la bobine est intacte, si la roue dentée tourne et si la distance entre la roue dentée et le capteur est correcte.

Il est également possible de contrôler un capteur inductif en mesurant la résistance de la bobine. Elle est généralement de 1 k Ω . Ce contrôle ne garantit toutefois pas que la roue dentée tourne et que l'espacement est correct. L'avantage de cette mesure réside dans la simplicité et la rapidité de la mesure.

Les capteurs inductifs ont généralement deux fils de raccordement (entrée et sortie de la bobine). Pour compenser les interférences du signal, on utilise parfois un autre toron pour le blindage.

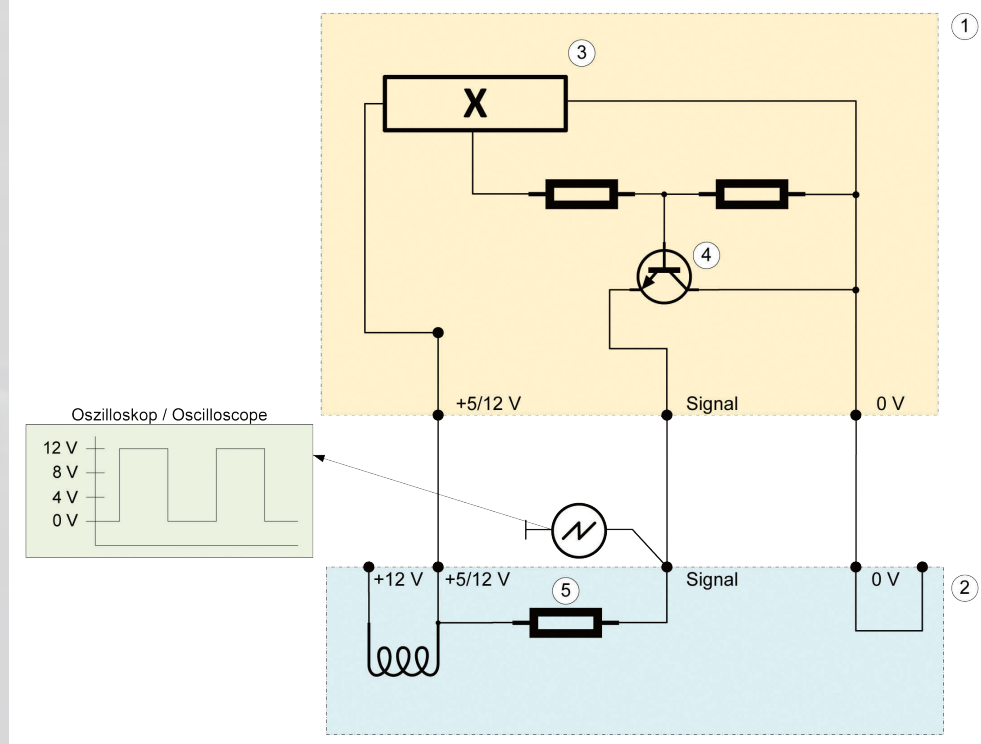
• Capteurs à variation d'inductance

Les capteurs de ce type sont entre autre utilisés comme capteurs de vitesse de rotation. Ils utilisent deux bobines montées l'une dans l'autre et ont besoin d'une cible dentée du côté opposé. La première bobine est alimentée à une fréquence fixe et induit donc la seconde bobine. Lorsque la roue dentée est à l'arrêt, le signal induit sur la deuxième bobine est en phase avec le signal de base. Lorsque la roue dentée commence à tourner, la rotation des dents et des trous crée un décalage de phase entre le signal émis par l'électronique intégrée et le signal reçu par l'autre bobine. Il est donc possible de déduire la vitesse de rotation en mesurant le déphasage. Ce capteur présente l'avantage de fonctionner à bas régime et d'être peu sensible aux écarts de concentricité. Il a été utilisé par certains constructeurs comme capteur de phase et de vitesse de rotation.

• Capteurs magnétorésistifs

Les capteurs magnétorésistifs peuvent mesurer la vitesse de rotation d'un objet magnétique. L'avantage est qu'ils réagissent déjà à bas régime, ce qui constitue un avantage important par rapport aux capteurs inductifs. Ils ont également deux fils et leur fonctionnement repose sur celui des diviseurs de tension.

Ces capteurs sont composés d'une résistance qui réagit aux champs magnétiques. Selon que le capteur est exposé au pôle nord ou au pôle sud d'un aimant, sa résistance et donc la chute de tension aux bornes changent. En raison de la cible utilisée, le signal de sortie est un carré et une tension continue, qui oscille cependant entre +0,8 V et +1,2 V. Le signal peut être vérifié à l'aide d'un oscilloscope. Un contrôle au voltmètre



est possible, mais difficile en raison de la variation très rapide.

Détecteurs de mouvement :

• Potentiomètre

Le potentiomètre est une résistance variable qui est modifiée par un balais frottant sur une piste à couche de carbone. La tension est appliquée aux deux extrémités de la piste et le balais permet de récupérer une tension partielle proportionnelle à la distance parcourue par rapport à la piste. Le potentiomètre dispose donc de 3 bornes, d'une alimentation électrique positive et d'une alimentation négative, ainsi que d'un fil de signal. Il peut être facilement vérifié à l'aide d'un multimètre ou d'un oscilloscope. L'oscilloscope permet de visualiser les encrassements ou les coupures dans le circuit qui amènent à une accumulation d'erreurs dans la mémoire de la commande. Il est donc judicieux d'utiliser un oscilloscope à la place d'un multimètre. Aujourd'hui, les potentiomètres sont progressivement remplacés par des capteurs à variation d'inductance, hall ou de capacité, car les potentiomètres sont soumis à une usure plus importante que les nouveaux types de capteurs.

• Capteur à variation d'inductance

Il est utilisé comme capteur de position, par exemple dans les systèmes ECAS (electronically controlled air suspension) de remorques. Ces capteurs sont

alimentés par une fréquence de courant alternatif fixe sur une bobine. La mesure de l'intensité permet le calcul de l'inductance. Selon la position du noyau mobile, il se produit une variation de l'inductance qui est proportionnelle à la position du noyau mobile. La meilleure façon de vérifier est d'utiliser un henrymètre et d'actionner le noyau. Lors d'une mesure avec un ohmmètre, il est possible de vérifier l'état de l'enroulement, mais pas l'état du noyau mobile (rampe interne défectueuse).

Capteurs de détection de distance et d'objet :

• Capteurs à ultrasons

Les capteurs à ultrasons utilisent l'émission et la réflexion des ultrasons pour déterminer une distance. Contrairement à d'autres technologies, ils présentent l'avantage d'être peu coûteux, mais l'inconvénient de ne convenir qu'à de courtes distances. La puissance du signal diminue de 50 % à chaque doublement de la distance. Ces capteurs fonctionnent en envoyant un ultrason d'une fréquence d'environ 40 kHz, puis en attendant un écho. Le capteur est donc composé d'une partie émettrice et d'une partie réceptrice. Le capteur calcule alors le temps qui s'écoule entre l'envoi de l'onde et le retour de l'écho puis il divise ce temps par 2 et en déduit la distance. Comme nous l'avons déjà mentionné, la portée du capteur est limitée et ne dépasse pas 5 mètres.

- 1 Sensoreinheit
 - 2 Steuergerät
 - 3 Hallplatte
 - 4 NPN Transistor
 - 5 Messwiderstand
- 1 unité de capteur
 - 2 Unité de contrôle
 - 3 Plaque à effet Hall
 - 4 Transistor NPN
 - 5 Résistance de mesure

gende magnetische Ziel trifft einen Sensor vor dem anderen, sodass die Drehrichtung bestimmt werden kann. Diese Sensoren verwenden also eine komplexe interne Elektronik, um das Ausgangssignal zu formen.

Eine komplette Überprüfung des Sensors mit einem Multimeter ist daher nicht mehr möglich. Auch mit einem Oszilloskop ist die Überprüfung anspruchsvoll. In manchen Fällen kann das Signal sogar als Datenrahmen ausgegeben werden, um die Informationen direkt auf einem Datenbus zur Verfügung zu stellen.

• Induktive Sensoren

Induktive Sensoren verwenden eine Kupferspule mit einem Widerstand von etwa 1 k Ω , in deren Mitte ein Magnet sitzt. Wenn ein Zahnrad am Sensor vorbeiläuft, lenkt dies das Magnetfeld des Magneten ab, wodurch sich das Magnetfeld ändert und somit eine Induktion in der Spule entsteht. Der Sensor wird also nicht extern versorgt und erzeugt seine Spannung selbst.

Induktive Sensoren werden in «Bipolare» und «Unipolare» Sensoren eingeteilt. Bipolare Sensoren sind weniger empfindlich in Bezug auf das abzutastende Zahnrad, was die Qualität des Signals verbessert. Um einen induktiven Sensor zu überprüfen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Am effektivsten ist die Methode mit einem Oszilloskop. Denn anhand des gemessenen Signals kann eine sichere Aussage gemacht werden, ob die Spule intakt ist, ob sich das Zahnrad dreht und ob die Distanz zwischen Zahnrad und Sensor korrekt ist.

Eine weitere Möglichkeit zur Prüfung eines induktiven Sensors kann durch die Messung des Spulenwiderstands erfolgen. Dieser liegt in der Regel bei 1k Ω . Diese Prüfung stellt jedoch nicht sicher, dass sich das Zahnrad dreht und der Luftspalt korrekt ist. Der Vorteil dieser Messung liegt in der Einfachheit und Schnelligkeit der Messung.

Induktive Sensoren haben meist zwei Anschlussdrähte (Eingang und Ausgang der Spule). Um Signalstörungen entgegenzuwirken, wird teil-

weise eine weitere Litze zur Abschirmung verwendet.

• Sensoren mit variabler Induktivität

Diese Art von Sensoren wird vorwiegend als Drehzahlsensoren verwendet. Sie verwenden zwei Spulen, die ineinander montiert sind, und benötigen auf der gegenüberliegenden Seite ein gezahntes Ziel. Die erste Spule wird mit einer festen Frequenz gespeist und induziert daher die zweite Spule. Wenn das Zahnrad stillsteht, ist das Signal, welches auf der zweiten Spule induziert wird, phasengleich mit dem Basissignal. Wenn sich das Zahnrad zu drehen beginnt, erzeugt die Veränderung der Zähne und Löcher eine Phasenverschiebung zwischen dem von der integrierten Elektronik ausgesendeten Signal und dem an der anderen Spule empfangenen Signal. Daher ist es möglich, die Drehzahl durch Messung der Anzahl der Änderungen der Phasenverschiebung abzuleiten. Dieser Sensor hat den Vorteil, dass er bereits bei niedrigen Drehzahlen funktioniert und wenig anfällig für Rundlaufabweichungen ist. Er wurde von einigen Herstellern als Phasen- und Drehzahlsensoren eingesetzt.

• Magneto-resistive Sensoren

Magneto-resistive Sensoren können die Drehzahl eines magnetischen Objekts messen. Der Vorteil ist, dass sie bereits bei niedrigen Drehzahlen reagieren, was ein wichtiger Vorteil gegenüber induktiven Sensoren ist. Sie haben ebenfalls zwei Drähte und basieren auf der Funktionsweise von Spannungsteilern.

Diese Sensoren bestehen aus einem Widerstand, der auf Magnetfelder reagiert. Je nachdem, ob der Sensor dem Nord- oder dem Südpol eines Magneten ausgesetzt ist, ändert sich sein Widerstand und damit auch der Spannungsabfall an den Klemmen. Aufgrund des verwendeten Objekts ist das Ausgangssignal ein Rechteck und ein Gleichstrom, der jedoch zwischen +0,8V und +1,2V schwankt. Das Signal kann mit einem Oszilloskop überprüft werden. Die Kontrolle mit einem Voltmeter ist möglich, aber aufgrund der sehr schnellen Variation schwierig.

Bewegungssensoren:

• Potentiometer

Das Potentiometer ist ein variabler Widerstand, der durch eine Bürste verändert wird, die auf einer Kohlebahn reibt. Die Spannung wird an beiden Enden der Spur angelegt und die Bürste ermöglicht die Rückgewinnung einer Teilspannung, die proportional zur Länge der zurückgelegten Strecke im Verhältnis zur Spur ist. Er hat also 3 Klemmen, eine positive und eine negative Stromversorgung und einen Signalleiter. Er kann leicht mit einem Multimeter oder mit einem Oszilloskop überprüft werden. Mit dem Oszilloskop können Verschmutzungen oder Leiterbahnunterbrechungen sichtbar gemacht werden, die zu einer Speicherung von Fehlern in der Steuerung führen. Daher ist es sinnvoll, ein Oszilloskop anstelle eines Multimeters zu verwenden. Heute werden Potentiometer zunehmend durch Induktivitäts- oder Kapazitätssensoren ersetzt, da Potentiometer im Gegensatz zu den neuen Sensortypen einem höheren Verschleiß unterliegen.

• Sensor mit variabler Induktivität

Sie werden als Positionssensoren z.B. in ECAS-Systemen (electronically controlled air suspension) von Anhängern verwendet. Diese Sensoren werden mit einer bestimmten Stromfrequenz gespeist. Wechselstrom fließt auf eine Spule geschaltet. Die Messung der Stromstärke ermöglicht die Berechnung der Induktivität. Je nach Position des beweglichen Kerns kommt es zu einer Änderung der Induktivität, die proportional zur Position des beweglichen Kerns ist. Die beste Methode zur Überprüfung ist, indem Sie ein Henrymeter verwenden und den Kern zu betätigen. Bei einer Messung mit einem Ohmmeter ist es möglich, den Zustand der Wicklung zu überprüfen, aber nicht der Zustand des beweglichen Kerns (innere Rampe defekt).

Distanz- und Objekterkennungssensoren:

• Ultraschallsensoren

Ultraschallsensoren nutzen die Ausbreitung und Reflexion von Ultra-

LiDaR

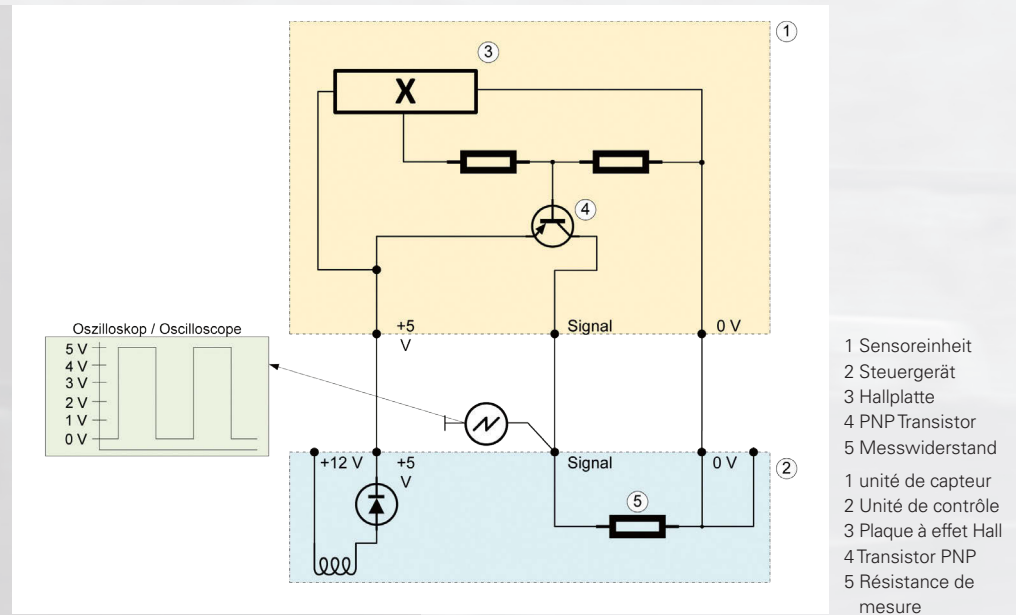
Le LiDaR (Light Detection and Ranging) est un capteur qui fonctionne avec une émission lumineuse de courte durée allant de la lumière ultraviolette à la lumière visible et infrarouge. L'impulsion est émise dans plusieurs directions et réfléchi sur un ou plusieurs objets. Le temps entre l'émission et la réception détermine alors la distance entre le capteur et la cible. Le principe est donc le même que pour les capteurs à ultrasons. La vitesse de l'onde est cette fois celle de la lumière et donc nettement plus rapide (300 000 km/s). Cette technologie a l'avantage de permettre de saisir plusieurs cibles grâce à son électronique interne, ce qui lui permet de cartographier rapidement plusieurs points afin d'obtenir une image complète d'une zone donnée. Le prix est également inférieur à celui du radar, ce qui est intéressant. La distance est toutefois limitée à environ 200 m si l'angle de rayonnement est faible. Un autre inconvénient est sa perte de précision lorsqu'il est utilisé par mauvais temps (neige, brouillard...). Certains des capteurs actuels sont capables d'intégrer plusieurs niveaux et de générer ainsi une image de plus de 275°, ce qui permet le déplacement de machines autonomes en culture en rangées.

Radar

Les systèmes radar sont de plus en plus utilisés, que ce soit pour détecter la distance entre un pulvérisateur agricole et les plantes, pour détecter des objets ou des personnes à proximité d'une machine ou encore pour les projets de véhicules autonomes (tracteurs, désherbeurs, ...).

Le radar utilise une onde électromagnétique de haute fréquence (entre 75 et 122 GHz, selon le modèle et l'usage). Le principe consiste à émettre une onde réfléchi par un objet éloigné. Comme l'onde ne mesure que quelques mm, il est également possible de détecter de petits objets. L'avantage réside dans sa grande portée et sa capacité à traverser certaines matières plastiques, ce qui permet de monter le capteur derrière un cache, contrairement au système à ultrasons. Il est également beaucoup moins sensible aux mauvaises conditions météorologiques.

À l'instar des capteurs à ultrasons, les radars peuvent donc mesurer une distance à partir du temps de réflexion d'une onde, mais aussi une vitesse différentielle. Pour ce faire, ils utilisent l'effet Doppler, avec une fréquence qui



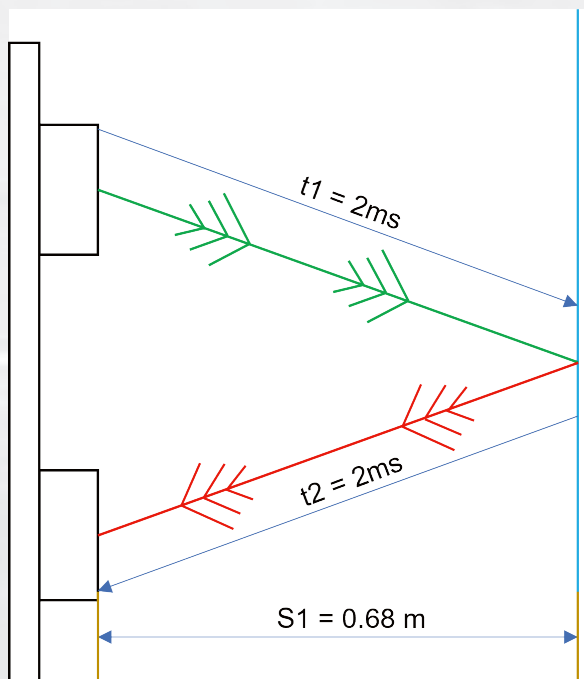
varie en fonction de la vitesse et de la direction du mouvement. C'est par exemple cet effet que l'on perçoit avec le bruit des sirènes des véhicules de secours. Quand ils s'approchent de nous, le son devient plus aigu car l'onde est comprimée par le mouvement. En revanche, si le véhicule s'éloigne, l'onde se dilate et la fréquence diminue, ce qui produit un son plus grave. Les systèmes radar utilisent le même principe pour mesurer non seulement la distance, mais aussi la vitesse. Cette technologie est utilisée dans les avions ou les voitures, mais aussi sur certains véhicules lents tels que les tracteurs pour mesurer avec précision la vitesse entre le tracteur et le sol malgré le patinage des roues.

Les ondes peuvent être émises de deux manières: pulsées ou en continu. Des ondes pulsées sont émises et le radar attend un écho. Il ne mesure donc pas en continu. Sur un modèle à ondes continues, les fréquences sont légèrement modifiées en continu, de sorte que le radar émet continuellement. Le radar connaît l'heure d'émission de chaque fréquence, il peut ainsi déterminer le temps nécessaire à l'onde pour le retour et ainsi déterminer continuellement la distance.

L'angle de balayage est notamment influencé par le nombre d'antennes. Certains modèles sont également équipés d'un entraînement mécanique permettant de palper une zone plus importante.

Ces systèmes doivent être soigneusement étalonnés en atelier afin de garantir leur bon fonctionnement.

Damien Jaquet



Schematische Darstellung eines Ultraschall-Sensors
 Représentation schématique d'un capteur à ultrasons

Berechnung / Calcul

$$\frac{(t_1+t_2) \times v_{\text{son}}}{2} = S_1$$

v_{son} = Schallgeschwindigkeit / Vitesse du son

$$\frac{(2\text{ms}+2\text{ms}) \times 340 \text{ m/s}}{2} = 0,68 \text{ m}$$

Das Objekt befindet sich 0,68 Meter vom Sensor entfernt.

L'objet se trouve à 0,68 mètre du capteur.

schall, um eine Entfernung zu bestimmen. Im Gegensatz zu anderen Technologien haben sie den Vorteil, dass sie kostengünstig sind, aber den Nachteil, dass sie nur für kurze Entfernungen geeignet sind. Die Signalstärke nimmt bei jeder Verdoppelung der Distanz um 50% ab. Diese Sensoren funktionieren, indem sie einen Ultraschall mit einer Frequenz von ca. 40 kHz aussenden und dann auf ein Echo warten. Der Sensor besteht also aus einem Sende- und einem Empfangsteil. Der Sensor berechnet dann die Zeit, die zwischen dem Aussenden der Welle und der Rückkehr des Echos vergeht. Dann teilt er diese Zeit durch 2 und berechnet daraus die Entfernung. Wie bereits erwähnt, ist die Reichweite des Sensors begrenzt und beträgt maximal 5 Meter.

• Der LiDaR

LiDaR (Light Detection and Ranging) ist ein Sensor, der mit einer kurzzei-

tigen Lichtemission arbeitet, die von ultraviolettem über sichtbares bis hin zu infrarotem Licht reicht. Der Impuls wird in mehrere Richtungen ausgestrahlt und an einem oder mehreren Objekten reflektiert. Die Zeit zwischen dem Senden und dem Empfangen bestimmt dann die Entfernung zwischen dem Sensor und dem Ziel. Das Prinzip ist daher das gleiche wie bei Ultraschallsensoren. Die Geschwindigkeit der Welle ist diesmal die des Lichts und damit wesentlich schneller (300 000 km/s). Diese Technologie hat den Vorteil, dass sie dank ihrer internen Elektronik mehrere Ziele erfassen und somit mehrere Punkte schnell kartographieren kann, um ein vollständiges Bild eines bestimmten Gebietes zu erhalten. Der Preis ist ebenfalls niedriger als bei Radar, was attraktiv ist. Die Entfernung ist jedoch auf ca. 200 m begrenzt, wenn der Abstrahlwinkel klein ist. Ein weiterer Nachteil ist der Verlust der Genauigkeit, wenn er bei schlechtem Wetter (Schnee, Nebel, ...) eingesetzt wird. Einige der heutigen Sensoren können mehrere Ebenen integrieren und somit ein Bild von mehr als 275° erzeugen, was die Bewegung autonomer Maschinen in Reihenkulturen möglich macht.

• Radar

Radarsysteme werden immer häufiger eingesetzt, sei es zur Erkennung des Abstands zwischen einer Feldspritze und den Pflanzen, zur Erkennung von Objekten oder Personen in der Umgebung einer Maschine oder auch in Projekten für autonome Fahrzeuge (Traktoren, Unkrautvernichter, ...).

Das Radar verwendet eine elektromagnetische Welle mit einer hohen Frequenz (zwischen 75 und 122 GHz, je nach Modell und Zweck).

Das Prinzip besteht darin, eine Welle auszusenden, die von einem entfernten Objekt reflektiert wird. Da die Welle nur wenige mm groß ist, können auch kleine Objekte erkannt werden. Der Vorteil ist die hohe Reichweite und die Fähigkeit, bestimmte Kunststoffe zu durchdringen, so dass der Sensor im Gegensatz zum Ultraschallsystem hinter einer Abdeckung montiert werden kann. Er ist

auch wesentlich weniger anfällig für schlechte Wetterbedingungen. Radargeräte können also wie Ultraschallsensoren eine Entfernung über die Reflexionszeit einer Welle messen, aber auch eine Differenzgeschwindigkeit. Dazu nutzen sie den Dopplereffekt, der die Frequenz in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der Richtung der Bewegung ändert. Dies kann man an den Geräuschen von Rettungsfahrzeugen (Sirenen) erkennen. Wenn sie sich uns nähern, wird der Ton höher, da die Welle durch die Bewegung komprimiert wird. Wenn sich das Fahrzeug hingegen entfernt, wird die Welle ausgedehnt und die Frequenz verringert sich, was einen tieferen Ton erzeugt. Dasselbe Prinzip wird von Radarsystemen verwendet, um neben der Entfernung auch die Geschwindigkeit zu erfassen. Diese Technologie wird nicht nur in Flugzeugen oder Autos verwendet, sondern auch bei einigen langsamen Fahrzeugen wie Traktoren, um eine genaue Geschwindigkeitsmessung zwischen Traktor und Boden trotz durchdrehender Räder zu erkennen.

Die Wellen können auf zwei Arten ausgestrahlt werden: gepulst oder kontinuierlich. Gepulste Wellen werden ausgesendet und das Radar wartet auf ein Echo. Es misst also nicht kontinuierlich. Bei einem Modell mit kontinuierlichen Wellen werden die Frequenzen kontinuierlich leicht verändert, so dass das Radar kontinuierlich sendet. Da der Radar den Zeitpunkt der Aussendung jeder Frequenz kennt, kann er die Zeit bestimmen, die die Welle für die Rückkehr benötigt und somit die Entfernung kontinuierlich bestimmen.

Der Abtastwinkel wird unter anderem durch die Anzahl der Antennen beeinflusst. Einige Modelle verfügen auch über einen mechanischen Antrieb, mit dem ein Bereich abgetastet werden kann.

Diese Systeme müssen in der Werkstatt sorgfältig kalibriert werden, um ihre Funktionstüchtigkeit zu gewährleisten.

Damien Jaquet