

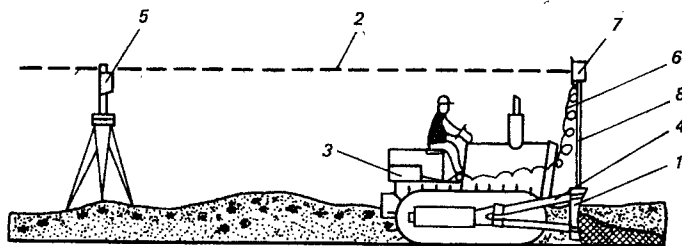
LASEROWY SYSTEM STEROWANIA MASZYNAMI INŻYNIERYJNYMI

1. Wstęp

Wraz ze wzrostem wymagań dotyczących tempa i jakości prac wykonywanych przy zastosowaniu maszyn roboczych takich jak: spycharki, zgarniarki, równiarki, maszyny melioracyjne itp., konieczne staje się wprowadzanie automatycznego systemu sterowania niezależniającego operatorów maszyn od zmysłów ludzkich, decydujących o efektach pracy. Dążąc do podniesienia efektów prac ziemnych wykonywanych przy użyciu wyżej wymienionych maszyn, opracowano w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów MERA—PIAP laserowy system automatycznego sterowania organem wykonawczym maszyny roboczej, który jako podsystem będzie wchodzić w skład systemu POLMATIK. Opracowany system może być również wykorzystany do sterowania kierunkiem jazdy maszyn — zwłaszcza przy budowie dróg i autostrad.

2. Zasada działania laserowego systemu sterowania

Zasada działania laserowego systemu sterowania zostanie omówiona na przykładzie laserowego urządzenia do automatycznego sterowania organem roboczym spycharki (rys.1). Prace nad automatyzowaniem spycharki są prowadzone przy współudziale Ośrodka Badawczo—Rozwojowego Maszyn Ziemnych i Transportowych Kombinatu Huta Stalowa Wola. Celem sterowania jest tu utrzymanie organu roboczego (1) na zadanej głębokości prowadzenia. Przez zadaną głębokość prowadzenia rozumie się odległość organu roboczego od promienia laserowego (2). Promień laserowy stanowi odniesienie, względem którego odbywa się prowadzenie organu roboczego.



Rys.1. Laserowy system automatycznego utrzymywania organu roboczego spycharki na stałej głębokości

Ze względu na istniejące nierówności terenowe, wartość początkową głębokości zgarniania ziemi należy wyznaczyć metodami geodezyjnymi, a następnie wprowadzić organ roboczy na odpowiadającą wyznaczonej wartości głębokość. Przy tak ustawionym organie roboczym należy przesunąć detektor

promieniowania (7), przy pomocy mechanizmu prowadzącego (8), aż do położenia centralnego względem płaszczyzny światła odniesienia.

Mechanizm prowadzący jest sterowany przy pomocy przełączników znajdujących się w kabinie operatora. Położenie detektora względem płaszczyzny odniesienia określają lampki kontrolne umieszczone również w kabinie operatora. Po ustawieniu detektora w płaszczyźnie odniesienia, mechanizm prowadzący zatrzymuje się, a następnie jest uruchamiany napęd gąsienic (kół) maszyny roboczej. W przypadku, gdy głębokość prowadzenia organu roboczego jest równa wartości zadanej, detektor (7) jest oświetlony centralnie przez promień laserowy. Sygnał wyjściowy detektora promieniowania jest wtedy równy zeru.

W przypadku, gdy z dowolnej przyczyny organ roboczy maszyny zmieni położenie w stosunku do wartości zadanej, detektor promieniowania, sprzężony z organem roboczym, przesunie się względem wiązki światła wysyłanej przez nadajnik laserowy (5). W detektorze zostanie wtedy wytworzony sygnał informujący o wystąpieniu błędu regulacji. Sygnał ten jest przesyłany przy pomocy wielożyłowego kabla ekranowego (6) do bloku sterującego (3), w którym następuje wzmocnienie sygnału i standaryzacja amplitudy napięcia sterującego trójpółżeniowym, elektrohydraulicznym zespołem wykonawczym (4). Zespół wykonawczy sprowadza organ roboczy do zadanego położenia. Organ roboczy jest więc prowadzony z zachowaniem stałej odległości pomiędzy nim a promieniem laserowym (2). Laserowy system sterowania można również stosować do prowadzenia organu roboczego maszyny przy założonym spadku terenu wykonywanych prac ziemnych. W tym celu ustala się odpowiednie nachylenie wiązki światła laserowego względem płaszczyzny poziomej.

3. Nadajnik laserowy

Jako źródło światła zastosowano laser helowo-neonowy (He-Ne) o długości fali świetlnej $\lambda = 632,8$ nm. Moc sygnału świetlnego na wyjściu nadajnika wynosi około 1,5 mW. Średnica wiązki światła na wyjściu lasera wynosi około 1,5 cm. Światło laserowe charakteryzuje się dużą spójnością i małą rozbieżnością. W odległości 300 m od źródła światła, średnica wiązki laserowej wzrasta zaledwie do około 4,5 cm. Powyższe właściwości lasera decydują o przyjęciu wiązki światła laserowego jako linii odniesienia. Laserowy system sterowania został przystosowany do pracy przy zakłóceniach w postaci światła dziennego na tle światła słonecznego o prawie stałym natężeniu. Impulsowanie zrealizowano przez obrót wiązki światła laserowego wokół stałej osi. Dzięki takiemu rozwiązaniu uzyskano również świetlną płaszczyznę odniesienia, co umożliwia sterowanie jednocześnie kilkoma maszynami oraz eliminuje konieczność nakierowywania bardzo wąskiej wiązki światła laserowego na detektor promieniowania.

Częstotliwość, z którą jest obracana wiązka światła laserowego jest regulowana w nadajniku laserowym, a czas trwania impulsów ustala się w regulatorze wchodzącym w skład bloku sterującego. Parametry impulsów sterujących dobiera się tak, aby uzyskać minimalny czas regulacji tj. czas potrzebny na zlikwidowanie powstałego błędu regulacji.

4. Detektor promieniowania laserowego

Podczas prac konstrukcyjnych nad detektorem promieniowania laserowego, prowadzonych w Ośrodku Automatyki Elektrycznej Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP, przyjęto założenia, które wynikają z warunków eksploatacji detektora, jak też z dostosowania go do współpracy z nadajnikami budowanymi w oparciu o lasery He-Ne produkowane w Polsce.

Założenia te są następujące:

- Ze względu na to, że stosowane w nadajnikach lasery He-Ne charakteryzują się stosunkowo dużą rozbieżnością wiązki, czyli średnica plamki dość znacznie wzrasta ze wzrostem odległości pomiędzy

nadajnikiem laserowym a detektorem, w detektorze została zastosowana duża liczba fotoelementów ustawionych w osi pionowej i połączonych w układzie różnicowym.

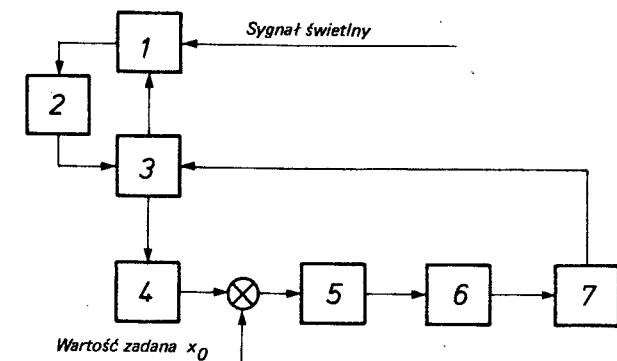
- Przy sterowaniu głębokością prowadzenia narzędzi roboczych, jako odniesienie przyjęto poziomą płaszczyznę światła laserowego, ze względu na możliwość przesuwania się detektora w kierunku poziomym wraz z maszyną, na skutek występowania nierówności poprzecznych w stosunku do kierunku ruchu maszyny. Przy sterowaniu kierunkiem ruchu maszyn inżynieryjnych, jako odniesienie przyjęto pionową płaszczyznę światła laserowego ze względu na możliwość przemieszczenia się detektora w kierunku pionowym, na skutek występowania nierówności wzdłuż kierunku ruchu maszyny.
- Ze względu na konieczność dostosowania detektora do pracy przy silnym nasłonecznieniu oraz małą moc nadajnika (rzędu 1,5 mW na wyjściu nadajnika), przyjmuje się metodę impulsowego oświetlania detektora.
- W celu zwiększenia selektywności detektora, należy stosować filtry optyczne wąskopasmowe, przepuszczające promieniowanie laserowe (długość fali = 632,8 nm) i niwelujące działanie tła.

4.1. Budowa i działanie detektora promieniowania laserowego

Fotoelementy zastosowane w detektorze wytwarzają sygnały elektryczne o wartościach proporcjonalnych do natężenia promieniowania padającego na nie światła. Z sygnałów tych zostają wyodrębnione w filtrach elektrycznych składowe zmienne, wytwarzane przez impulsowe światło laserowe. W przypadku gdy oświetlone są górne fotoelementy detektora, wytwarzane są impulsy dodatnie, a w przypadku gdy oświetlone są dolne fotoelementy, impulsy ujemne. Częstotliwość występowania impulsów jest określona przez częstotliwość modulowania sygnału optycznego. Detektor promieniowania laserowego jest dostosowany do pracy zarówno z laserem o małej (0,01 mrad) jak i z laserem o dużej rozbieżności (0,5 mrad) wiązki. W pierwszym przypadku detektor wytwarza sygnał wtedy gdy którykolwiek z fotoelementów jest oświetlony, w drugim przypadku sygnał powstaje w momencie gdy detektor jest oświetlony niesymetrycznie, to znaczy jest oświetlona nieparzysta liczba fotoelementów. Opisany wyżej detektor jest dostosowany do wskazywania odchyleń od płaszczyzny światła w przypadkach, gdy odchylenia te nie przekraczają ± 10 cm. Ograniczenie to wynika z wymiarów geometrycznych detektora. Dla przypadków gdy jest wymagany pomiar większych odchyleń (rzędu ± 100 cm), opracowano urządzenie pomiarowe z serwomechanizmem śledzącym, w którym wykorzystano wyżej opisany detektor promieniowania laserowego. Serwomechanizm śledzący może znaleźć zastosowanie przy sterowaniu szybko poruszających się maszyn roboczych w różnych warunkach terenowych.

5. Układ automatycznej regulacji prowadzenia narzędzi roboczych, wykorzystujący serwomechanizm śledzący

Na rysunku 2 pokazano schemat blokowy układu automatycznej regulacji głębokości prowadzenia narzędzia roboczego maszyny inżynieryjnej. Detektor (1) wypracowuje sygnał elektryczny będący miarą odchyłki położenia detektora (1) od położenia symetrycznego względem poziomej płaszczyzny światła laserowego. Sygnał błędu, poprzez regulator (2) steruje zespołem silnik wykonawczy—przekładnia (3), który przesuwa detektor w kierunku pionowym w ten sposób, aby jego sygnał wyjściowy był równy zero. Dzięki temu detektor zajmuje położenie symetryczne względem płaszczyzny światła laserowego, niezależnie od położenia narzędzia roboczego maszyny, na którym znajduje się zespół silnik wykonawczy—przekładnia, ustalający położenie detektora promieniowania laserowego. Z zespołem wykonawczym jest sprzężony przetwornik położenia na prąd (4), który przy centralnym położeniu detektora względem płaszczyzny światła laserowego wytwarza sygnał prądowy o wartości proporcjonalnej do odległości pomiędzy zespołem wykonawczym i tą płaszczyzną.



Rys.2. Schemat blokowy układu automatycznej regulacji

Sygnał ten jest porównywany z wartością zadaną x_0 (rys.2) głębokości prowadzenia narzędzia i w przypadku wystąpienia błędu regulacji, hydrauliczny zespół wykonawczy (6), sterowany przez regulator (5) sprowadza narzędzie (7) do położenia zadanego, przy którym błąd regulacji jest równy zeru. Niezależnie od położenia narzędzia roboczego, które poprzez zmianę położenia sprzężonego z nim mechanicznie zespołu silnik wykonawczy—przekładnia (3) wpływa na położenie detektora, układ regulacji zapewnia położenie detektora, symetryczne względem płaszczyzny światła laserowego. Z zasady działania laserowego systemu sterowania wynika, że detektor promieniowania laserowego musi być oświetlany przez światło laserowe. W płaszczyźnie pionowej zapewnia to układ regulacji opisany wyżej. W celu spełnienia warunku oświetlenia detektora w płaszczyźnie poziomej zastosowano zespół automatycznego naprowadzania detektora na kierunek świecenia nadajnika laserowego. Naprowadzenie odbywa się w ten sposób, że umieszczony w detektorze czujnik kierunku wytwarza sygnały informujące o położeniu płaszczyzny roboczej detektora względem kierunku świecenia nadajnika laserowego. Sygnały te są wytwarzane w przypadku, gdy płaszczyzna robocza detektora nie jest oświetlona prostopadle przez nadajnik laserowy. Następnie, poprzez wzmacniacz mocy, są one podawane na silnik elektryczny umieszczony w głowicy detektora promieniowania. Silnik ten obraca detektor w taki sposób, żeby jego płaszczyzna robocza była zwrócona w kierunku nadajnika laserowego.

6. Dokładność regulacji przy stosowaniu laserowego systemu sterowania

Badania wykazały, że strefa nieczułości przy wytwarzaniu sygnału błędu położenia detektora promieniowania laserowego względem płaszczyzny odniesienia, nie przekracza ± 5 mm. Wartość strefy nieczułości nie zmienia się przy wzroście odległości pomiędzy nadajnikiem laserowym a detektorem, pomimo że średnica wiązki światła laserowego wzrasta. Zostało to zapewnione przez zastosowanie w detektorze promieniowania od dwóch do dziesięciu fotoelementów ustawionych w osi pionowej i połączonych w układzie różnicowym. Dzięki temu, przy zmianie średnicy wiązki światła, zmienia się liczba pracujących fotoelementów, a wartość strefy nieczułości nie przekracza ± 5 mm.

7. Wnioski

Opisany wyżej, laserowy system sterowania maszynami inżynierskimi stanowi kolejny etap automatyzacji pracy maszyn roboczych. Poprzednie systemy bazowały bądź na rozciągniętej lince stalowej stanowiącej odniesienia, bądź na radiu, przy pomocy którego przesyłano impulsy sterujące organem roboczym.

Wady systemu sterowania z linką stalową są następujące:

- w celu uzyskania dokładnego poziomu odniesienia należy bardzo precyzyjnie ustawić podpórki utrzymujące linkę,
- ustępowanie gruntu, w który wbijane są podpórki utrzymujące linkę wprowadzają niedokładności do linii odniesienia,
- tor ruchu maszyny musi być określony z góry,
- tory ruchu kilku maszyn pracujących jednocześnie nie mogą się przecinać.

Wadą systemu sterowania opartego na radiu jest to, że kontroli położenia organu roboczego dokonuje człowiek, który obserwuje przez przyrządy geodezyjne położenie organu roboczego a następnie, drogą radiową wysyła impulsy sterujące.

Sposób ten uzależnia więc dokładność sterowania od zmysłów ludzkich.

Lasery system sterowania maszynami inżynieryjnymi nie posiada wyżej wymienionych wad. Wprowadzenie tego systemu sterowania zapewni szybkie i dokładne wykonywanie prac inżynieryjnych.