

prof. dr hab. inż. Andrzej Milecki
Politechnika Poznańska
mgr Marcin Chciuk, mgr inż. Paweł Bachman
Uniwersytet Zielonogórski

WYKORZYSTANIE LASEROWEGO CZUJNIKA ODLEGŁOŚCI DO ESTYMACJI SIŁY W UKŁADZIE STEROWANIA NAPĘDEM ELEKTROHYDRAULICZNYM DŻOJSTIKIEM DOTYKOWYM

Celem artykułu jest opisanie bezpośredniego układu sterowania serwonapędem elektrohydraulicznym z zastosowaniem dżojstika dotykowego z hamulcem magnetoreologicznym i siłowym sprzężeniem zwrotnym. Na początku artykułu znajduje się opis układu sterowania opartego na laserowym czujniku położenia Balluff BOD 6K-RA01-C-02, który służy do symulacji siły obciążenia siłownika. W końcowej części artykułu pokazane są wyniki badań symulacji ściskania sprężyny oraz procesu łamania.

THE USAGE OF LASER DISTANCE SENSOR FOR FORCE ESTIMATION IN CONTROL OF ELCTROHYDRAULIC DRIVE BY HAPTIC JOYSTICK

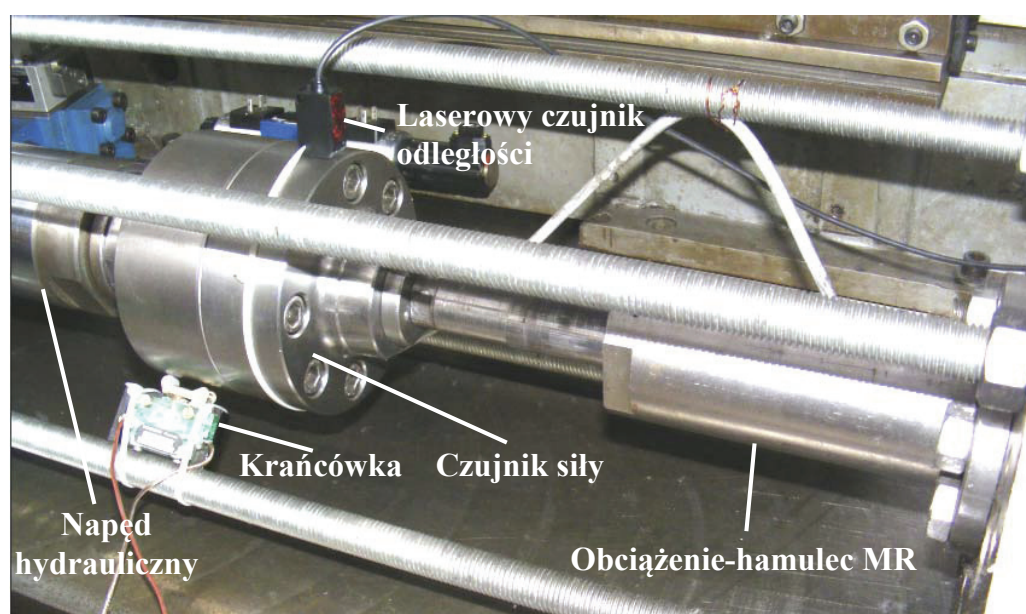
The article is aimed to testing of haptic joystick with force feedback and magnetorheological fluid brake used in direct, human control of electrohydraulic servodrives. The paper starts with the description of the control system based on laser distance sensor Balluff BOD 6K-RA01-C-02 which is using for piston's working load simulation. Finally, a research results for spring compression and breaking simulation are presented.

1. WSTĘP

W napędach sterowanych za pośrednictwem dżojstików z siłowym sprzężeniem zwrotnym, w których wykorzystywana jest tzw. technologia haptic, jako elementy mierzące siłę oddziaływania urządzenia na przeszkodę używane są czujniki siły. Są to zwykle elementy drogie i do tego wrażliwe na uszkodzenia w przypadku, gdy siły przekroczą dopuszczalne wartości krytyczne. Dodatkowo występuje problem związany z ich zamontowaniem na elemencie wykonawczym. W przypadku, gdy sterowane urządzenie umieszczone jest w znanym środowisku zewnętrznym, w którym wykonuje np. przesuwanie znanej masy albo zginanie znanego elementu, czujnik siły można zastąpić np. czujnikiem położenia, który dostarczy informacji o odległości elementu wykonawczego od elementu, na którym będzie wykonywana operacja technologiczna. Sygnał siły można wtedy wygenerować na podstawie wartości stałej zapisanej w sterowniku. W niniejszym artykule opisano sterowanie napędem elektrohydraulicznym za pośrednictwem jednoosiowego dżojstika dotykowego [2, 3, 4, 6, 7, 8]. Jako element wywołujący siłę oporu ruchu ramienia wykorzystano hamulec magnetoreologiczny (MR) [1, 5]. Na elemencie wykonawczym napędu (tłoczyisku) zamontowano laserowy czujnik odległości, którego sygnał wyjściowy wykorzystano do sterowania hamulcem MR dżojstika.

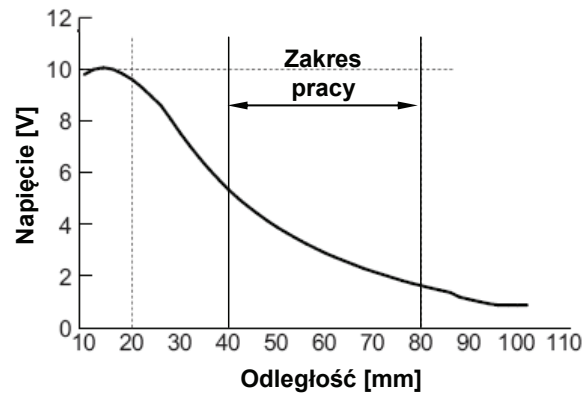
2. OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO I CZUJNIKA ODLEGŁOŚCI

W badaniach zastosowano napęd elektrohydrauliczny składający się z dwustopniowego zaworu proporcjonalnego typu KHDG5V firmy Vickers połączonego z siłownikiem o średnicy tłoka 90 mm i skoku 400 mm. Na wejście karty podawany był pochodzący z jednoosiowego dźwojstika sygnał położenia jego ramienia o zakresie 0–5 V. W samym dźwojstiku zastosowano obrotowy hamulec z cieczą magneto reologiczną. Obciążenie siłownika stanowił liniowy hamulec magnetoreologiczny (MR), którego siła oporu mogła być zmieniana poprzez zmianę napięcia elektrycznego. Pozwalało to na symulowanie obciążenia np. typu sprężyna, przesuwana masa albo zginanie plastyczne. Pomiedzy tłokiem siłownika a hamulcem liniowym zamontowano czujnik siły, który służył do wstępnych pomiarów sił generowanych przez hamulec liniowy. Przebiegi te zarejestrowano i zapisano w pamięci sterownika. Dla celów pomiarowych zamontowano również transformatorowy czujnik do pomiaru położenia tłoczyska oraz przełącznik krańcowy załączany w momencie kontaktu tłoczyska z obciążeniem, tutaj hamulcem liniowym MR. Na rys. 1 pokazano widok omówionych wyżej elementów, zamontowanych na stanowisku pomiarowym.

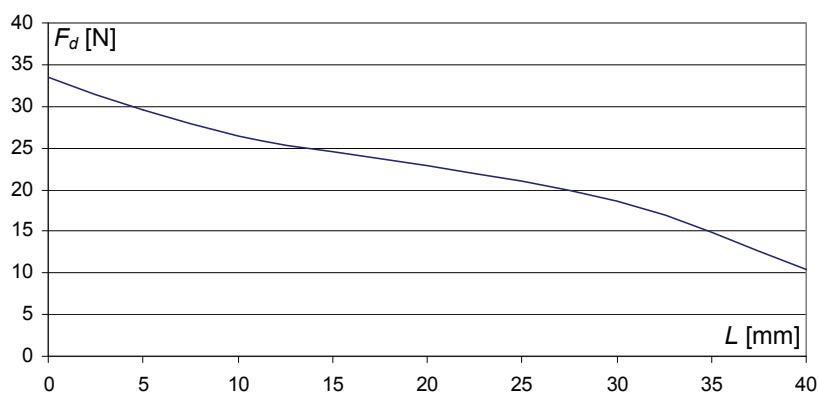


Rys. 1. Widok stanowiska badawczego

Do pomiarów odległości tłoczyska badanego serwonapędu od obciążenia czyli hamulca MR zastosowano czujnik laserowy firmy Balluff typu BOD 6K-RA01-C-02 (rys. 2a) o zakresie pracy do 100 mm i analogowym napięciem wyjściowym 0–10 V. W związku z tym, że w początkowej części charakterystyki (rys. 2b) czujnik wykazuje dużą nieliniowość przyjęto, że główny zakres pracy będzie wynosił od 40 do 80 mm. Czujnik został tak umieszczony, aby punkt zderzenia tłoczyska siłownika z przeszkodą znalazł się w odległości 40 mm.



Rys. 2. Widok (a) i charakterystyka laserowego czujnika Balluff BOD 6K-RA01-C-02 (b) [9]



Rys. 3. Charakterystyka siły oporu dźwistika F_d w zależności od generowanego przez czujnik laserowy sygnału odległości od przeszkody L

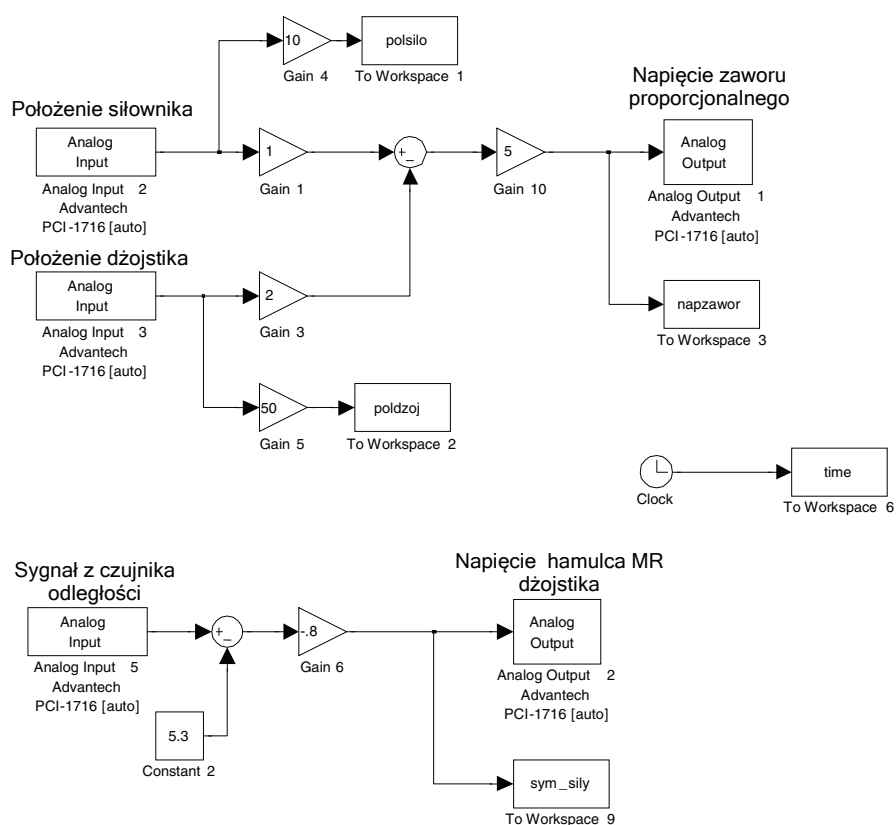
Sygnal pochodzący z czujnika laserowego był przekazywany za pośrednictwem karty wejść analogowych do sterownika komputerowego, który na jego podstawie generował sygnał sterujący cewką hamulca obrotowego MR zamontowanego w osi dźwistika. Charakterystykę siły generowanej na dźwistiku F_d w zależności od sygnału odległości od przeszkody L , generowanego przez czujnik laserowy pokazano na rys. 3.

3. BADANIA DOŚWIADCZALNE

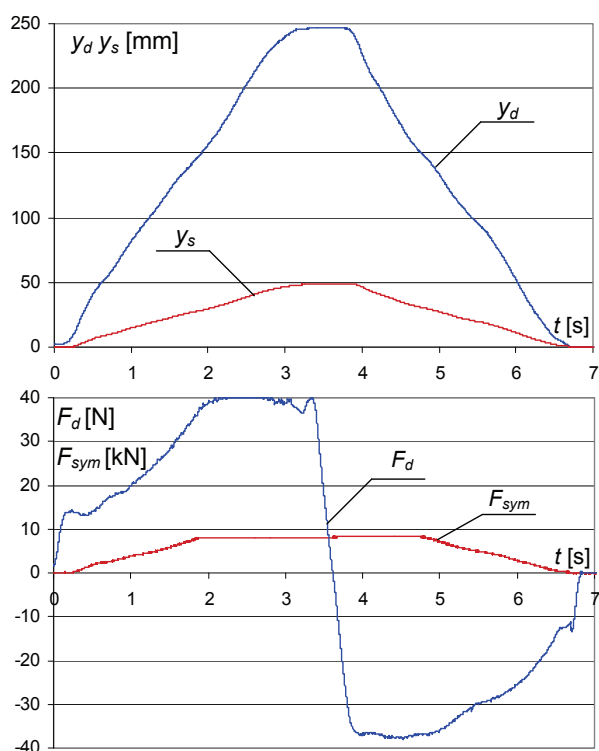
Głównym zagadnieniem, jakie chciano rozpoznać podczas badań było to, czy zastosowanie czujnika laserowego umożliwi przekazanie operatorowi podobnych odczuć, jak przy zastosowaniu czujnika siły. Badania ograniczono do procedury ściskania sprężyny. Podczas pomiarów nie montowano na stanowisku hydraulicznym rzeczywistej sprężyny ze względów bezpieczeństwa (mogłaby ona pęknąć lub wyrwać się). Zastępowano ją liniowym hamulcem MR. Układ sterowania wykonany w programie Simulink pokazany jest na rys. 4. W pierwszym etapie badań symulowano obciążenie liniowe, którego wartość można opisać zależnością

$$F_{sym} = k \cdot y \quad (1)$$

gdzie: F_{sym} – symulowana na podstawie położenia siła oporu ruchu tłoczyska, k – współczynnik sprężystości sprężyny, y – położenie tłoka siłownika.



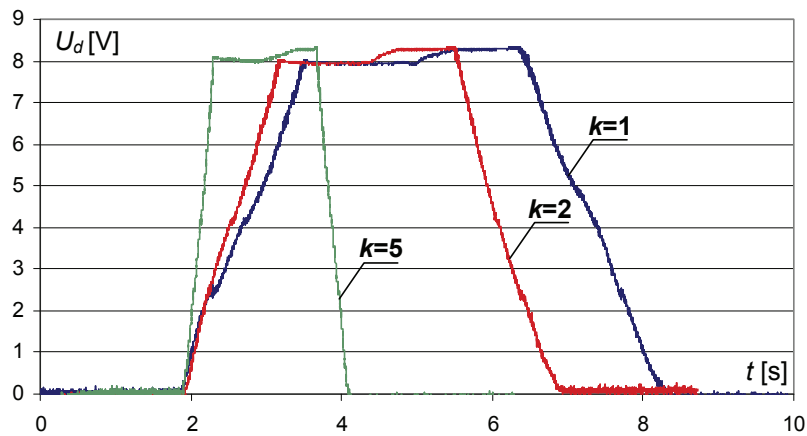
Rys. 4. Układ sterowania wykonany w programie Simulink



Rys. 5. Przebiegi położenia dźwostika i siłownika oraz siły symulowanej i siły na dźwostiku

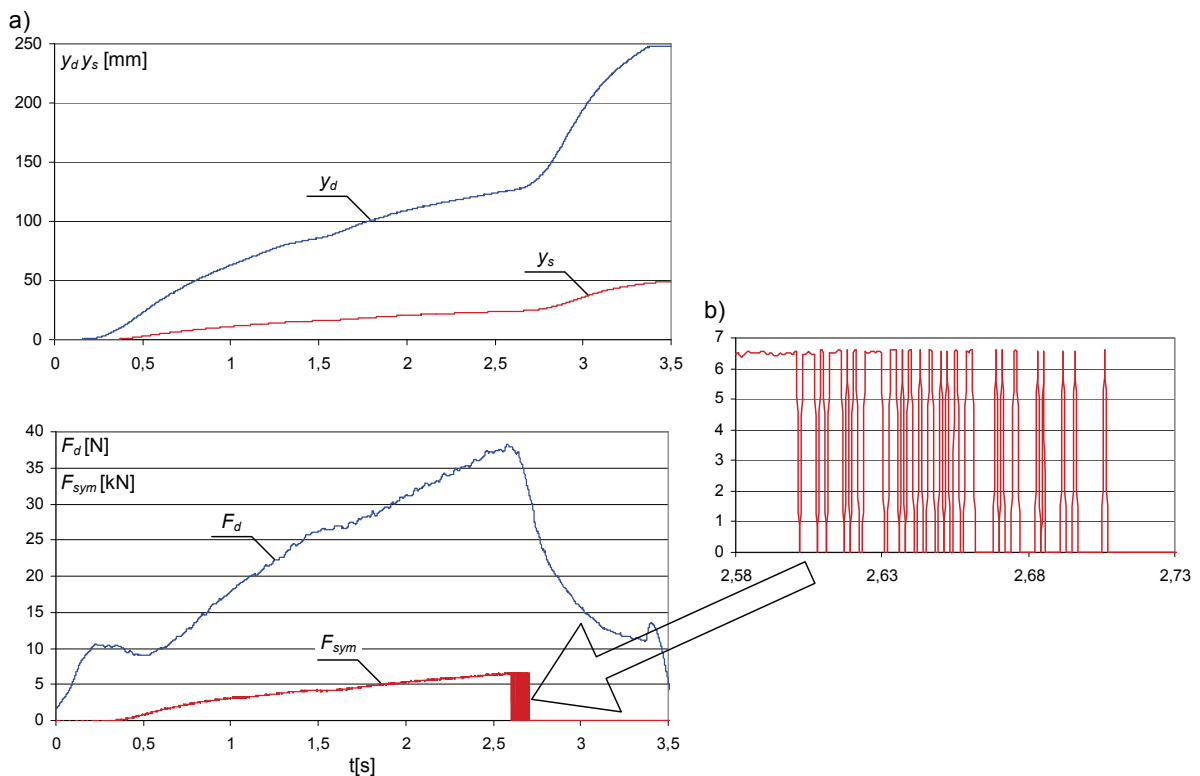
Na rysunku 5 przedstawione są przebiegi położenia kąтового ramienia dźwostika y_d i przesunięcia tłoka siłownika y_s oraz symulowana siła generowana na podstawie wskazań czujnika odległości F_{sym} i siła na dźwostiku F_d . Pokazane są przebiegi dla wysunięcia dźwostika i ruchu powrotnego.

Na rys. 6 przedstawione są przebiegi napięcia U_d podawanego na hamulec MR dźwostika dla różnych wartości twardości sprężyny. Widać na nim, że im większy jest współczynnik twardości, tym większy jest kąt nachylenia wykresu do osi czasu i napięcie szybciej osiąga wartość maksymalną.



Rys. 6. Napięcie wychodzące na dźwojstik dla różnych sztywności symulowanej sprężyny

Następnym etapem było zasymulowanie procesu łamania. W tym celu użyto wyłącznik krańcowy (rys. 1), który w pewnym momencie odłączał sygnał z czujnika położenia sprawiając, że wartość symulowanej siły gwałtownie spadała. Podczas spadku siły zauważono, że na siłowniku powstały oscylacje widoczne na rys. 7b.

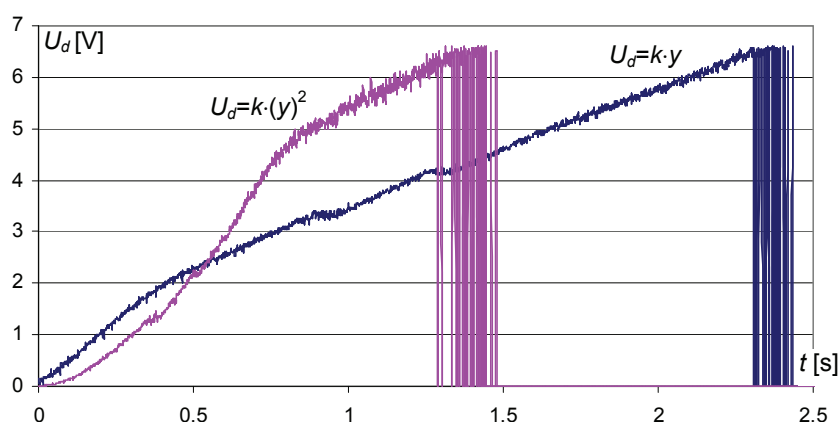


Rys. 7. Wykresy pokazujące symulację łamania

Ostatnim etapem wykonywanych prac było zasymulowanie sprężyny nieliniowej, którą można opisać zależnością

$$F_{sym} = k \cdot (y)^2 \tag{2}$$

Porównanie przebiegów napięcia wyjściowego podawanego na hamulec MR dźwojstika dla symulacji sprężyny liniowej i nieliniowej pokazane jest na rys. 8.



Rys. 8. Porównanie przebiegów napięcia wyjściowego na hamulec MR dżojstika dla symulacji sprężyny liniowej i nieliniowej

4. WNIOSKI

Pokazane w artykule wyniki pomiarów pokazują, że możliwe jest zastosowanie czujnika laserowego do symulowania sił, które przekazywane są operatorowi za pośrednictwem dżojstika typu haptic. Dzięki temu można też przekazywać informację o zmianach siły obciążenia napędu elektrohydraulicznego. Potwierdza to też opinia operatora, który przy pomocy zmysłu dotyku również odczuwał te zmiany. Zmysł odczuwania siły oporu u człowieka nie jest jednak na tyle czuły na zmiany, żeby było możliwe odróżnienie np. obciążenia liniowego od nieliniowego. Następnym etapem badań będzie zastosowanie w regulatorze zależności opisanych prawem Webera-Fechnera, które tworzy relację między fizyczną miarą bodźca a reakcją układu biologicznego. Prawo to ujawnia zmiany wpływu na ludzką wrażliwość bodźca w miarę przyrostu jego intensywności. Przewiduje się, że pozwoli to na zwiększenie czułości systemu i poszerzenie zakresu odczuć operatora.

Praca naukowa finansowana ze środków na nauki w latach 2010-2012 jako projekt badawczy pt. "Zastosowanie metod sztucznej inteligencji do nadzorowania pracy urządzeń mechatronicznych z napędami elektrohydraulicznymi sterowanymi bezprzewodowo"

LITERATURA

1. Paweł Bachman, Zastosowanie cieczy MR w dżojstikach typu "haptic", Ciecze elektro- i magnetoreologiczne oraz ich zastosowania w technice, Poznań, 2010.
2. Andrzej Milecki, Paweł Bachman, Konstrukcja i badania urządzeń zadających i dotykowych z cieczami magnetoreologicznymi i z siłowym sprzężeniem zwrotnym – podsumowanie projektu badawczego, Współczesne problemy techniki, zarządzania i edukacji, Zielona Góra, 2008.
3. Andrzej Milecki, Paweł Bachman, Marcin Chciuk, Wykrywanie kolizji w teleoperatorze z interfejsem dotykowym i systemem wizyjnym, Pomiary, Automatyka, Robotyka, nr 2, 2010.
4. Piotr Gawłowicz, Marcin Chciuk, Paweł Bachman, Algorytmy sterowania napędem elektrohydraulicznym przy pomocy wahadłowego dżojstika dotykowego z cieczą MR

- w układzie z siłowym sprzężeniem zwrotnym, *Pomiary, Automatyka, Robotyka*, nr 2, 2009.
5. Paweł Bachman, Andrzej Milecki, MR haptic joystick in control of virtual servo drive, *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 149, 2009.
 6. Piotr Gawłowicz, Marcin Chciuk, Paweł Bachman, Robot sterowany trzyosiowym dżojstikiem dotykowym z cieczą magnetoreologiczną, *Pomiary, Automatyka, Robotyka*, nr 2, 2009.
 7. Paweł Bachman, Siłowe sprzężenie zwrotne w hydraulice, *Hydraulika i Pneumatyka*, nr 2, 2009.
 8. Paweł Bachman, Sterowanie napędem elektrycznym za pomocą dżojstika dotykowego z cieczą magneto reologiczną, *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej*, nr 8, Poznań, 2008.
 9. Dokumentacja czujnika położenia Balluff BOD 6K-RA01-C-02 dostępna pod adresem: www.balluff.com/Balluff/Documents/manuals/821913_DE_EN_FR.pdf.