

Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych.

Projektowanie sensorów

Temat: Czujnik pojemnościowy poziomy.

Kierunek: Elektrotechnika

Specjalność: Systemy wbudowane

Wykonała: Monika Marciniuk

23.01.2021r.

Spis treści

Cel ćwiczenia	3
Wstęp	3
Teoria	3
Zastosowanie.....	4
Cylindryczny pojemnościowy czujnik poziomu- instrukcja do symulatora	6
Algorytm programu	8
Oprogramowanie.....	8
Struktura programu	8
Testy.....	9
Podsumowanie.....	13

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było oprogramowanie symulatora pojemnościowego sensora poziomu napełniania zbiornika.

Symulator powinien cechować następującymi funkcjami:

1. Interfejs poprzez stronę www
2. Wizualizacja napełnienia do różnych poziomów
3. Wizualizacja napełnienia innym płynem/substancją
4. Wykonanie charakterystyki $C_{out} = f(\text{level})$
 - a. dla różnych płynów/substancji
 - b. dla różnych promieni r_1
5. Wykonanie charakterystyki $C_{out} = f(\text{temp.})$
 - a. dla różnych płynów

Wstęp

Projekt zawiera symulator cylindrycznego sensora pojemnościowego, który pozwala na badanie zależności pojemności od takich czynników jak: rodzaj substancji, promień jednej z okładek kondensatora czujnika oraz temperatury przy zmianie poziomu napełniania naczynia. Strona internetowa zawiera także zakładkę, w której znajduje się teoria na temat działania i zastosowania sensorów poziomu. W innej zakładce znajduje się instrukcja do wykonania ćwiczenia oraz najważniejsze parametry i wzory do wykonania obliczeń.

Po wykonaniu odpowiednich kroków, użytkownik symulatora jest w stanie otrzymać przebiegi zależności pojemności od wyżej wymienianych czynników, które ukazują działanie sensora i jego zależności od poziomu napełnienia i badanej substancji.

Teoria

Sensor poziomu stosowany jest do pomiaru poziomu:

- cieczy,
- substancji proszkowych lub granulatu (sypkich),
- płynnego metalu w bardzo wysokiej temperaturze,
- płynnych gazów w bardzo niskiej temperaturze,
- materiałów korozyjnych,
- procesie produkcyjnym o dużym ciśnieniu w zbiorniku.

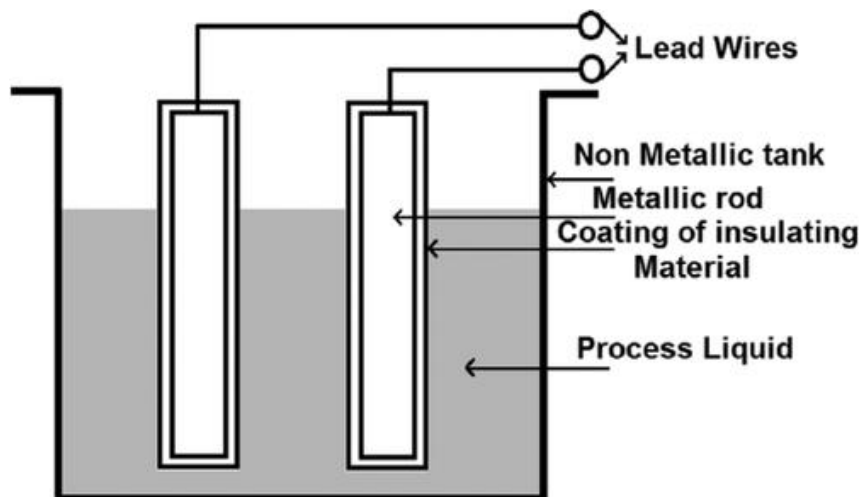
Są możliwe dwa rodzajów pomiarów poziomu płynu. Może być on badany w czasie rzeczywistym i określać dokładny poziom cieczy w danym zakresie. Drugą metodą jest określanie kiedy substancja przekroczy pewien poziom napełnienia (maksymalny i minimalny). Czujnik pojemnościowy poziomu może być stosowany w obu wypadkach.

Czujnik pojemnościowy poziomu

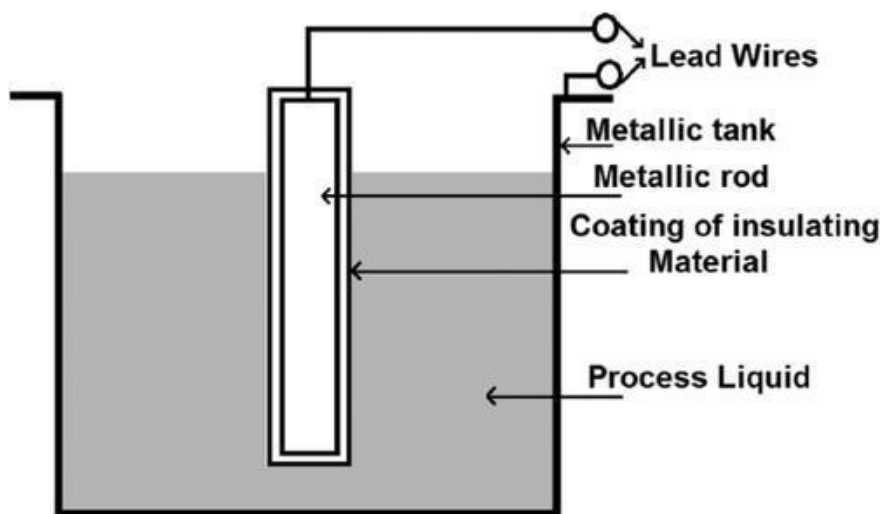
Czujnik pojemnościowy poziomu zbudowany jest z sondy zanurzanej w badaną substancję. Składa się ona z dwóch elektrod, między którymi rolę dielektryka pełni badana substancja w zbiorniku, co tworzy poddawany badaniom kondensator. Sensor określa poziom napełnienia zbiornika poprzez zmiany pojemności tego kondensatora i przetwarza na sygnał elektryczny. Na pojemność kondensatora wpływa m. in. przenikalność elektryczna względna danej substancji, wielkość okładek d i odstęp między nimi A . Jest to opisane wzorem:

Kondensator pojemnościowy poziomu może mieć dwie formy:

- 2 elektrody kondensatora umieszczonych w zbiorniku izolowane wypełnianym zbiornik płynem, używany w niemetalowych zbiornikach,



- 1 elektroda umieszczona w metalowym zbiorniku, którego ściana pełni rolę drugiej okładki.



Kształt elektrod może być różny (np. planarny, cylindryczny). By zmierzyć zmiany pojemności, układ podłącza się do przemiennego prądu i bada zmiany napięcia. Im większa energia w obwodzie tym większa pojemność, a zatem i poziom napełnienia zbiornika.

Zastosowanie

Czujniki pojemnościowe poziomu są obecnie w szerokim zastosowaniu. Ciężko byłoby wymienić wszystkie dziedziny, w jakich występuje pomiar poziomu cieczy. Najczęściej spotykany jest w przemyśle spożywczym, chemicznym i petrochemicznym. W wielu zbiornikach stosuje się zabezpieczenia przed przepełnieniem zbiornika lub zbyt niskim poziomem cieczy. Kolejnym zastosowaniem są pomiary inwentaryzacyjne, gdzie należy określić zużycie danego surowca. Ma to zastosowanie zarówno w zbiornikach rafineryjnych i tankowców po silosy ze zbożem, cukrem, a także te zawierające cement lub wapno.

W odróżnieniu od innych rozwiązań metoda pojemnościowa cechuje się bardzo krótkim czasem odpowiedzi pomiarowej, wysoką dokładnością pomiaru oraz detekcją rozdziału faz cieczy niezależnie od obecności emulsji i zawiesin. Wykorzystywane są często w małych zbiornikach stokażowych oraz do produktów z tendencją do tworzenia osadów. Czujniki dosyć dobrze znoszą pracę w wysokiej temperaturze i ciśnienie. Mogą mieć zastosowanie w badaniu substancji zarówno przewodzącej jak i nieprzewodzącej.

Przykładowym rozwiązaniem może być czujnik firmy Endress: Liquicap T lub taki pozwalający na detekcję rozdziału faz cieczy Liquicap M. Czas odpowiedzi takich czujników jest na poziomie około 300ms. Poniżej w tabeli przedstawiono ich parametry:



Rys. 1. Przykładowe rozwiązanie pojemnościowego czujnika poziomu firmy Endress.

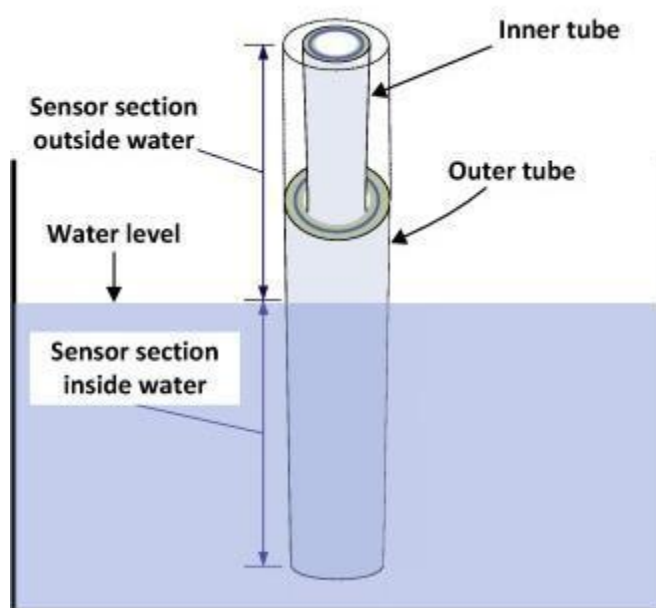
	Liquicap T		Liquicap M	
Typ	FMI21		FMI51	FMI52
Wersja	prętowa		prętowa	linkowa
Zakres pomiarowy [m]	0,15...2,5		0,1...4	0,42...10
Temperatura [°C]	-40...100		-80...200	
Ciśnienie [bar]	-1...10		-1...100	
Wyjście sygnałowe	4...20 mA		4...20 mA/HART, PFM	

Tabela 1 Parametry techniczne sondy Liquicap T i Liquicap M firmy Endress.

Można zauważyć że temperatura pracy mieści się w przedziale od -80 do 200 °C dla Liquicap M i ciśnienie do 100 barów.

Cylindryczny pojemnościowy czujnik poziomu- instrukcja do symulatora

W projekcie zastosowano czujnik cylindryczny.



Ze względu na cylindryczny kształt okładek kondensatora jego pojemność wyznaczana jest ze wzoru:

$$C_{out} = 2 \cdot \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot \pi \cdot (h_1 + h_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

Gdzie:

C_{out} – pojemność zmierzona na sensorze [F],

ϵ_0 - przenikalność elektryczna ($8.85 \cdot 10^{-12}$)
 ϵ_1 - przenikalność elektryczna względna substancji
 ϵ_2 - przenikalność elektryczna względna powietrza (1)
 h_1 - wysokość płynu w zbiorniku [cm]
 h_2 - wysokość powietrza w zbiorniku [cm]

1- promień wewnętrznej okładki kondensatora [cm] 2- promień zewnętrznej okładki kondensatora [cm]

Do obliczeń konieczna jest znajomość przenikalności względnej dla każdej badanej substancji:

Substancja	Przenikalność względna w temp. 20°C
woda	80
sól	3
H2SO4	84
gliceryna	47
amoniak	17

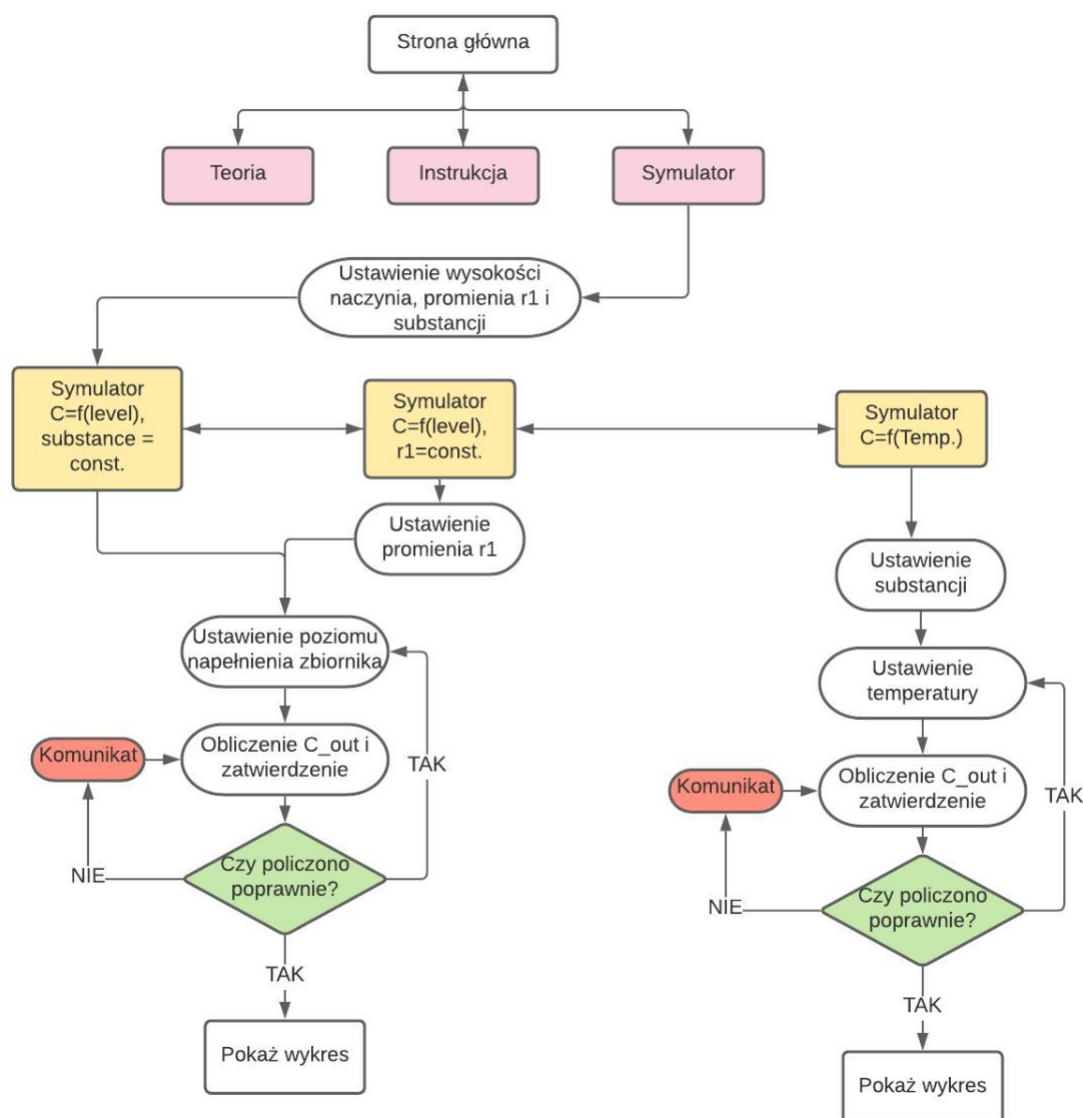
Do badania wpływu temperatury na pojemność należy pamiętać o tym, że przenikalność względna substancji zmienia się pod wpływem temperatury:

Substancja	Przenikalność względna substancji		
	0 °C	20 °C	25 °C
woda	88	80	78
gliceryna	41.2	47	42.5

Symulator uruchamiany jest z poziomu menu głównego.

- I. Początkowo ustawiane są takie parametry jak wysokość zbiornika, rodzaj badanej substancji i promień r_1 czujnika. Wciśnięcie przycisku submit zapisuje parametry i przechodzi do strony symulatora $C_{out} = f(level)$ dla wybranej substancji.
- II. Symulatora $C_{out} = f(level)$ dla wybranej substancji
 - a. Należy wybrać poziom napełnienia,
 - b. Obliczyć C_{out} ze wzoru [2], wpisać z dokładnością do 2 miejsc po przecinku i w jednostce [nF],
 - c. Jeśli parametr jest wpisany błędnie należy obliczyć go ponownie, gdy poprawnie można wyświetlić charakterystykę, dodać kolejne punkty do charakterystyki zmieniając poziom, lub zmienić substancję.
- III. Klikając na odpowiedni link u góry strony można uruchomić symulator dla charakterystyki $C_{out} = f(level)$ od zmian r_1 , wykonać te same kroki co dla II. a.-c.
- IV. Klikając na odpowiedni link u góry strony można uruchomić symulator dla charakterystyki $C_{out} = f(temp.)$ przy napełnieniu 50% zbiornika.
 - a. Należy wybrać substancję,
 - b. Określić temperaturę substancji,
 - c. Odnaleźć tabelę z parametrami przenikalności dielektrycznej i obliczyć C_{out} wg wzoru [2] ,
 - d. Jeśli parametr jest wpisany błędnie należy obliczyć go ponownie, gdy poprawnie można wyświetlić charakterystykę, dodać kolejne punkty do charakterystyki zmieniając temperaturę substancji.

Algorytm programu



Rys. 2 Schemat blokowy strony internetowej.

Oprogramowanie

Projekt został zaprogramowany w języku Python 3.7 przy wykorzystaniu webowego frameworka Flask 1.1.2 umożliwiającego współpracę języka Python z plikami HTML i CSS, biblioteki Pygal do zamieszczania na niej wykresów i Numpy do wykonywania operacji na macierzach. Strony web zaprogramowano w języku HTML, a styl strony w plikach CSS. Utworzono także wirtualne środowiska venv, które pozwala na izolację środowiska Python dla danego projektu, zalecany przy programowaniu we Flasku.

Struktura programu

Głównym programem jest plik **flask_v2.py**, czyli program napisany w Pythonie. Zawiera on funkcje do obliczeń pojemności kondensatorów, wprowadzania danych w oparciu o metody POST i odbierania ich poprzez GET oraz odczyt zarówno wprowadzanych parametrów jak i reakcja na wciśnięcie przycisków na stronie. Dodatkowo wykorzystano instrukcję session, która tworzy tzw. sesję przechowującą dane, by przy kolejnych krokach symulacji nie utracić poprzednich parametrów.

Pliki HTML są kolejnymi zakładkami strony internetowej utworzonej w ramach projektu. Są nimi:

- index.html – strona główna widoczna zaraz po uruchomieniu,
- instrukcja.html – plik zawierający instrukcję do ćwiczenia,
- teoria.html – plik zawierający wstęp teoretyczny,
- nowe.html – jest to strona wyświetlana zaraz po uruchomieniu symulatora,
- step2.html – strona symulatora $C_{out} = f(\text{level})$ dla zmian substancji,
- step2v2.html – strona zawierająca symulator $C_{out} = f(\text{level})$ dla zmian $r1$,
- step2v3.html – strona zawierająca symulator $C_{out} = f(\text{Temp.})$,
- step3.html – strona do wyboru promienia $r1$,
- substance.html strona do wyboru substancji (dla $C_{out} = f(\text{level})$),
- substance2.html – strona do wyboru substancji (dla $C_{out} = f(\text{Temp.})$).

Dodatkowo zaprogramowano pliki CSS dla formatowania wyglądu strony internetowej:

- index.css,
- new.css.

Testy

Testy wykonano dla każdego symulatora ($C=f(\text{level})$ dla zmian substancji, $C=f(\text{level})$ dla zmian $r1$ i $C=f(\text{Temp.})$).

a) Wyznaczenie funkcji pojemności od poziomu substancji

Pierwszy test wykonano dla zbiornika o wysokości 100cm, wybraną substancją jest woda, a promień $r1$ równy 0.1 cm. Po zatwierdzeniu parametrów, otworzyła się strona pierwszego symulatora jakim jest symulator zależności pojemności od substancji dla różnych poziomów. Dokonano pomiarów dla poziomów płynów od 0 do 60% dla każdej z substancji oraz obliczono pojemność układu.

Wyznaczenie pojemności dla parametrów z rysunku zamieszczonego pod obliczeniami:

$$= 2 \cdot 3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{(0.6 \cdot 100 \cdot 80 + 0.4 \cdot 100 \cdot 1)}{\ln(0.1)} = 8.83569 \cdot 10^{-8} = \ln(0.1)$$

Poniżej przedstawiono zrzut ekranu dla pomiaru 60% napełnienia zbiornika dla wody.

Simulator of cylindrical capacitive level sensor

EXAMINATION OF VOLATILITY OF CAPACITANCE AS DEPENDENCY ON TANK LEVEL

[See also: examination of volatility of capacitance as dependence on radius r1](#)
[See also: examination of volatility of capacitance as dependence on temperature](#)

System parameters:

Height of tank: 100.0 cm

Radius r1: 0.1 cm

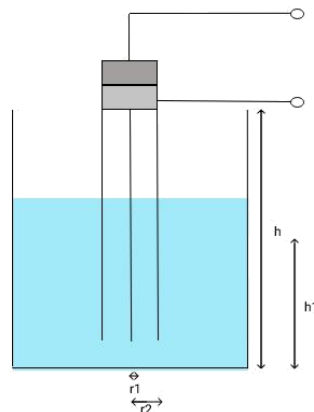
Radius r2: 2.5 cm

Substance: water

Electric permittivity of substance: 80.0

Level of substance: 60.0 cm

Successfully added C_out: 83.57 nF



Set level of substance, next calculate and write C_out [nF] with accuracy to 2 decimal numbers:

Select Value ▾

Write calculated output capacitance:

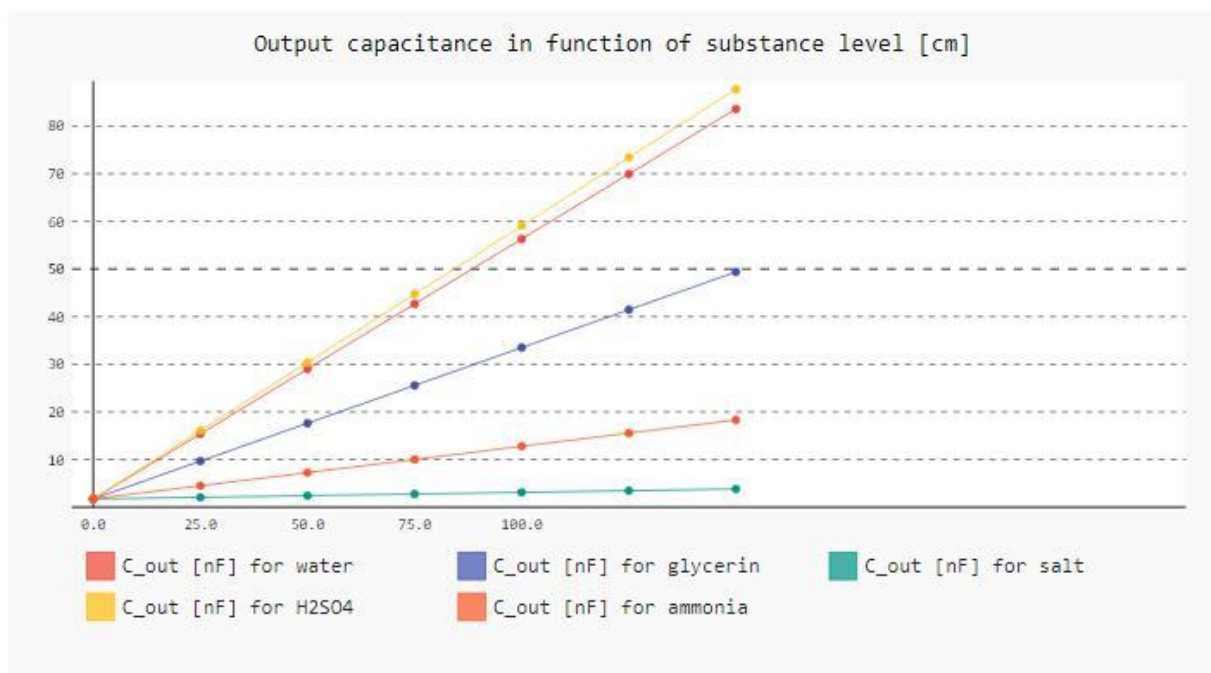
nF

Submit See graph

Change the substance

Rys. 3 Wynik symulacji przy napełnieniu 60% zbiornika wodą, badając zależności pojemności od poziomu napełnienia.

Kolejnym krokiem była zmiana substancji i ponowne obliczenie parametrów. Po wykonaniu pomiarów wykreślony został wykres:



Rys. 4 Wykresy dla otrzymanych wyników zależności pojemności od poziomu napełnienia dla różnych substancji.

b) Wyznaczenie funkcji pojemności od promienia kondensatora r1

Zadanie zostało wykonane dla amoniaku, pojemnika o wysokości 100cm. Test wykonano dla wszystkich możliwych promieni r1 zmieniając napełnienie zbiornika od 0 do 60%.

$$= 2 \cdot 3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12}$$

$$\frac{(0.6 \cdot 100 \cdot 17 + 0.4 \cdot 100 \cdot 1)}{2.5} = 1.8302 \cdot 10^{-8} = \ln(0.1)$$

Simulator of cylindrical capacitive level sensor

EXAMINATION OF VOLATILITY OF CAPACITANCE AS DEPENDENCY ON TANK LEVEL FOR DIFFERENT R1

[See also: examination of volatility of capacitance as dependence on substance](#)
[See also: examination of volatility of capacitance as dependence on temperature](#)

System parameters:

Height of tank: 100.0 cm

Radius r1: 0.1 cm

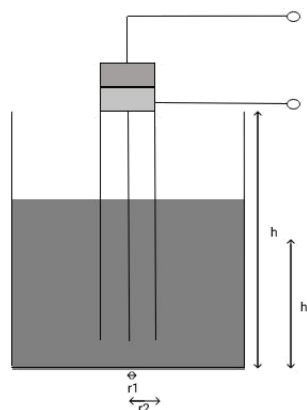
Radius r2: 2.5 cm

Substance: ammonia

Electric permittivity of substance: 17.0

Level of substance: 60.0 %

Successfully added C_out: 18.3 nF



Set level of substance, next calculate and write C_out [nF] with accuracy to 2 decimal numbers:

Select Value ▾

Write calculated output capacitance: nF

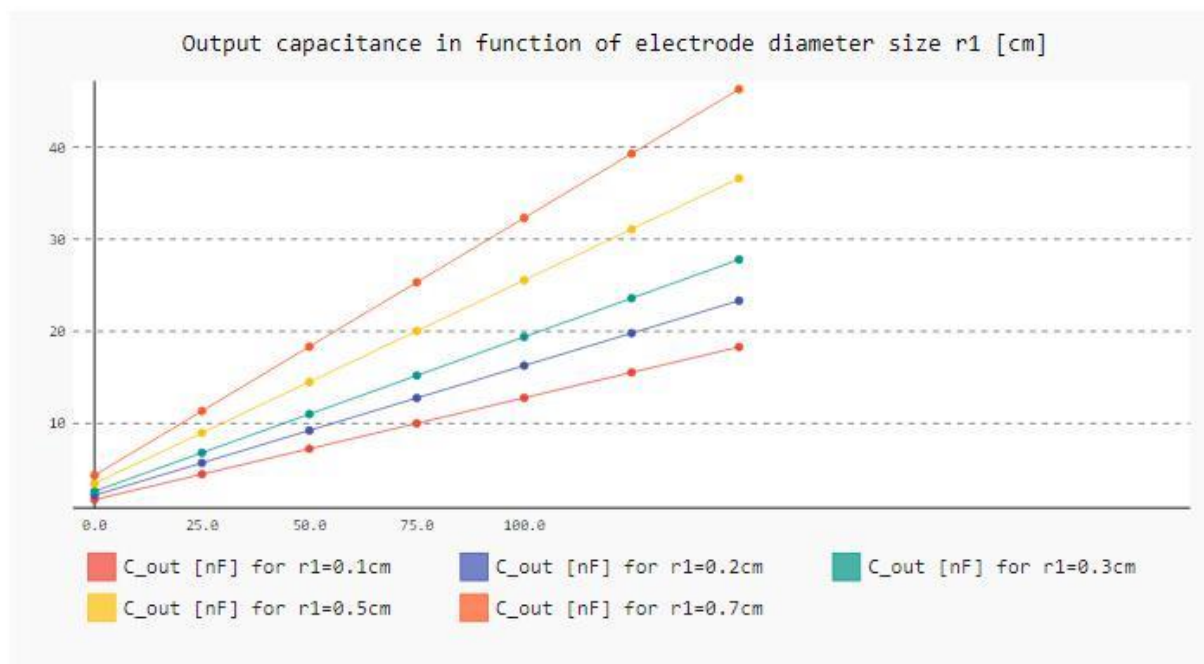
Submit

See graph

Change R1

Rys. 5 Wynik symulacji napełnienia 60% zbiornika amoniakiem przy badaniu zależności pojemności od promienia r1.

Po zebraniu odpowiednich pomiarów wykreślono wykres:



Rys. 6 Wykres zależności pojemności od poziomu napełnienia zbiornika, dla cylindrycznego pojemnościowego sensora poziomu dla amoniaku dla różnych promieni r1.

c) Wyznaczenie funkcji pojemności od temperatury

Ostatnim testem było wyznaczenie zależności pojemności od temperatury substancji. Test ten przeprowadzono dla temperatur 0,20 i 25 °C dla wody i gliceryny. Zbiornik był wypełniany do połowy jego objętości, a promień r1 wynosił 0.7cm.

Przykładowe obliczenia:

$$= 2 \cdot 3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12}$$

$$(0.5 \cdot 100 \cdot 41.2 + 0.6 \cdot 100 \cdot 1)$$

$$\underline{2.5} = 9.212 \cdot 10^{-8} = \ln(0.7)$$

EXAMINATION OF VOLATILITY OF CAPACITANCE AS DEPENDENCY ON SUBSTANCE TEMPERATURE

[See also: examination of volatility of capacitance as dependence on radius r1](#)
[See also: examination of volatility of capacitance as dependence on substance](#)

System parameters::

Height of tank: 100.0 cm

Radius r1: 0.7 cm

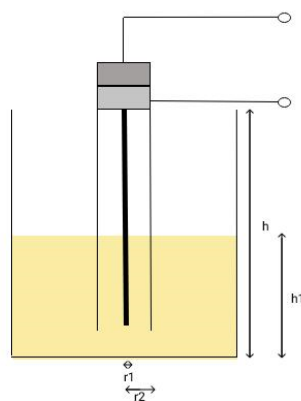
Radius r2: 2.5 cm

Substance: water

Electric permittivity of substance: 41.2

Level of substance: 50.0 %

Successfully added C_out: 92.12 nF



Set temperature of substance, next calculate and write C_out [nF] with accuracy to 2 decimal numbers:

Select Value

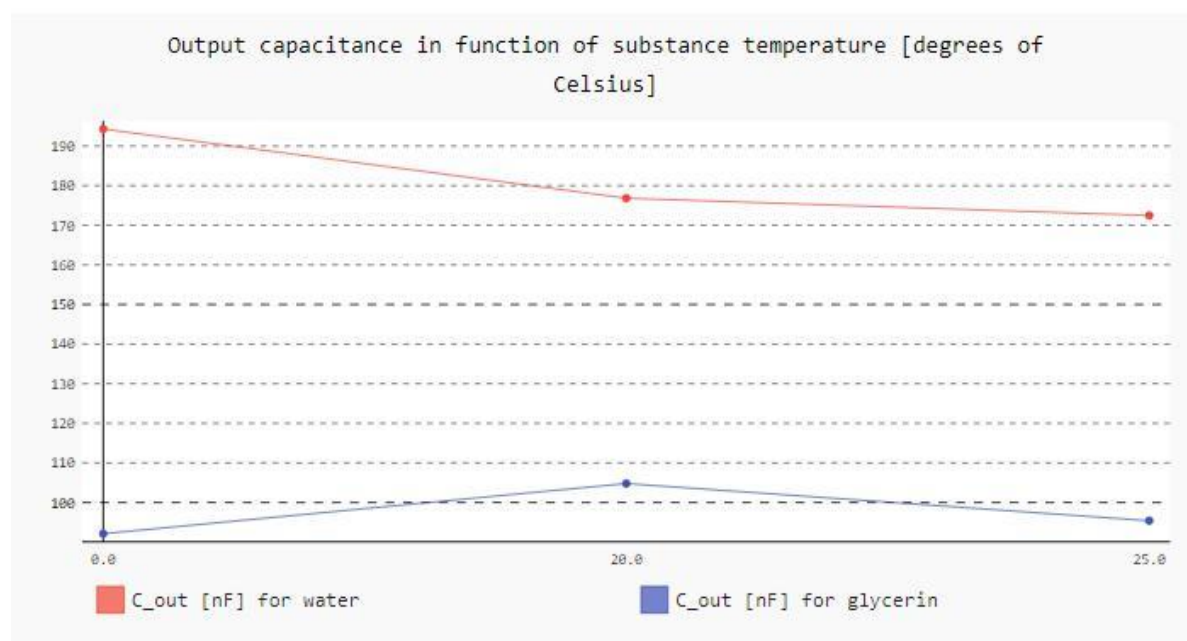
Write calculated output capacitance:

nF

Submit See graph

Change substance

Rys. 7 Wynik symulacji przy badaniu zależności pojemności od temperatury dla gliceryny przy napełnieniu 50% zbiornika dla 0 stopni Celjusza.



Rys. 8 Wykres zależności pojemności od temperatury dla wody i gliceryny.

Podsumowanie

Podsumowując symulator działa poprawnie, zarówno wprowadzanie parametrów poprzez rozwijane listy jak i wpisywanie wartości obliczonych parametrów jest odczytywana i przetwarzana przez program w celu narysowania wykresów i uruchomienia odpowiedniej symulacji. Najwięcej trudności sprawiło zapoznanie się ze środowiskiem Flask oraz jego funkcjonalnościami. Jest to stosunkowo prosty framework do zaimplementowania kodu na stronie internetowej. Stronę można byłoby w przyszłości zmodyfikować do mniejszej ilości plików html. Program działa lokalnie na danym komputerze, aby działał online należałoby zamieścić go na serwerze.

Czujnik pojemnościowy poziomu może mieć szerokie zastosowanie w przemyśle, dzięki bardzo szybkiej odpowiedzi jest w stanie kontrolować poziom napełnienia, działać w trudnych warunkach jakim jest wysokie ciśnienie, temperatura.

Bibliografia

1. https://pl.wikipedia.org/wiki/Pomiar_poziomu
2. <https://automatykab2b.pl/technika/38496-pomiary-poziomu-cieczy-i-materialow-sypkich>
3. https://portal.endress.com/wa001/dla/5000512/5583/000/00/Poziom_web.pdf
4. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0020294014546943>
5. https://pl.wikipedia.org/wiki/Wzgl%C4%99dna_przenikalno%C5%9B%C4%87_elektryczna
6. <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-disadvantages-of-Capacitive-Sensor.html>
7. <https://www.omega.de/literature/transactions/volume4/t9904-13-rf-cap.html>
8. https://pl.wikipedia.org/wiki/Kondensator#Pojemno%C5%9B%C4%87_kondensatora_kuliste_go
9. <http://sl-coep.vlabs.ac.in/List%20of%20experiments.html?domain=Electrical%20Engineering>
10. <http://www.pygal.org/en/stable/>
11. <https://flask.palletsprojects.com/en/1.1.x/>
12. <https://www.w3schools.com/html/>

Oświadczam, że niniejsza praca stanowiąca podstawę do uznania osiągnięcia efektów uczenia się została wykonana przeze mnie samodzielnie.

Monika Mariniuk