LAB 02 | 02 المختبر

Fuzzy Logic Voltage Control

التحكم بالجهد باستخدام المنطق الضبابي

Membership Functions, Fuzzification, Rules, Defuzzification, and MATLAB

دوال العضوية والتضييب والقواعد وإزالة الضبابية والتطبيق باستخدام MATLAB

Prepared by | إعداد: Dr.-Ing. Aouss Gabash

🎯 Lab Objectives

- Implement fuzzy membership functions in MATLAB.
- Calculate voltage error.
- Convert a crisp error into fuzzy memberships.
- Evaluate fuzzy IF–THEN rules.
- Calculate a crisp reactive-power command.
- Plot membership functions and controller response.

🎯 أهداف المختبر

- تنفيذ دوال العضوية الضبابية في MATLAB.
- حساب خطأ الجهد.
- تحويل الخطأ العددي إلى درجات عضوية.
- تقييم قواعد IF–THEN.
- حساب أمر قدرة ردية عددي.
- رسم دوال العضوية واستجابة المتحكم.

1. Voltage-Control Problem

$$Vref = 1.00pu, V = 0.96pu$$

$$e = Vref - V = 0.04pu$$

A positive error means the measured voltage is below the reference.

1. مسألة التحكم بالجهد

$$Vref = 1.00pu, V = 0.96pu$$

$$e = Vref - V = 0.04pu$$

الخطأ الموجب يعني أن الجهد الفعلي أقل من الجهد المرجعي.

2. Fuzzy Input Sets

Negative
Voltage is above the reference.

Zero
Voltage is close to the desired value.

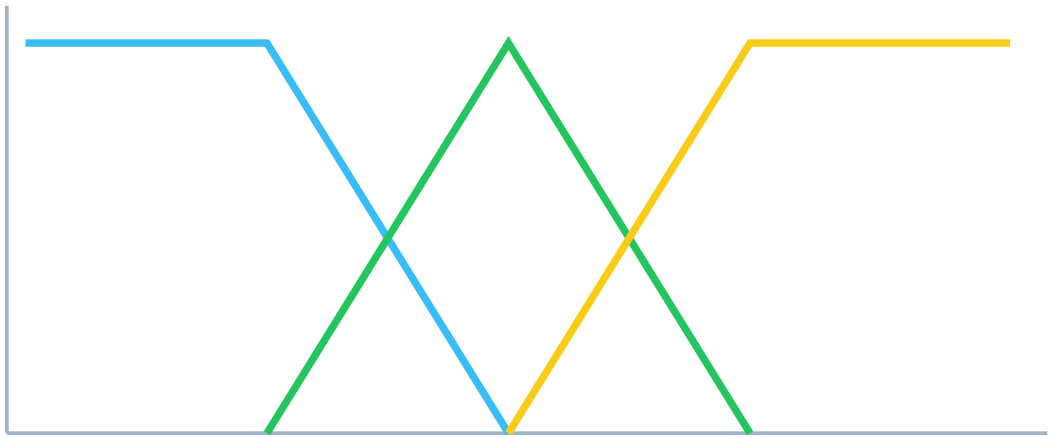
Positive
Voltage is below the reference.

2. مجموعات دخل الخطأ

- Negative | سالب
- Zero | صفر
- Positive | موجب

3. Membership Functions

$$-0.10 \leq e \leq 0.10pu$$



Overlapping sets allow smooth control actions.

3. دوال العضوية

يغطي المجال ثلاث مجموعات متداخلة تسمح بانتقال سلس بين أوامر التحكم.

4. Triangular Membership Function

$$\mu(x; a, b, c) = \max(\min((x-a)/(b-a), (c-x)/(c-b)), 0)$$

4. دالة العضوية المثلثية

يمكن تنفيذها مباشرة باستخدام الدالتين min وmax في MATLAB.

5. MATLAB Membership Function

```
trimf_local = @(x,a,b,c) max(min((x-a)/(b-a),(c-x)/(c-b)),0);
```

5. دالة العضوية في MATLAB

تحسب الدالة درجة انتماء القيمة x إلى مجموعة مثلثية محددة بالنقاط a وb وc.

6. Fuzzification

```
muNeg  = trimf_local(e,-0.10,-0.05,0.00);
muZero = trimf_local(e,-0.05, 0.00,0.05);
muPos  = trimf_local(e, 0.00, 0.05,0.10);
```

$$e \longrightarrow [\mu\text{Negative}, \mu\text{Zero}, \mu\text{Positive}]$$

6. التضبيب

تحول قيمة الخطأ العددية إلى ثلاث درجات عضوية تستخدم لتفعيل القواعد.

7. Fuzzy Rules

Rule 1
IF error is Negative THEN ΔQ is Negative.

Rule 2
IF error is Zero THEN ΔQ is Zero.

Rule 3
IF error is Positive THEN ΔQ is Positive.

7. القواعد الضبابية

- إذا كان الخطأ سالبًا، خفّض القدرة الردية.
- إذا كان الخطأ قريبًا من الصفر، لا تغيّر الأمر.
- إذا كان الخطأ موجبًا، زد القدرة الردية.

8. Singleton Outputs

$$qNeg = -1, qZero = 0, qPos = 1$$

The output values represent normalized reactive-power commands.

8. مخارج Singleton

تمثل القيم -1 و0 و1 أوامر قدرة ردية مطبّعة.

9. Defuzzification

$$\Delta Q = (\mu Neg qNeg + \mu Zero qZero + \mu Pos qPos)/(\mu Neg + \mu Zero + \mu Pos)$$

```
dQ = (muNeg*qNeg + muZero*qZero + muPos*qPos) ...
   / (muNeg + muZero + muPos);
```

9. إزالة الضبابية

يتم حساب متوسط موزون لمخارج القواعد للحصول على أمر عددي واحد.

10. Complete MATLAB Program

```
clear; clc; close all;

Vref = 1.00;
V = 0.96;
e = Vref - V;

trimf_local = @(x,a,b,c) max(min((x-a)/(b-a),(c-x)/(c-b)),0);

muNeg  = trimf_local(e,-0.10,-0.05,0.00);
muZero = trimf_local(e,-0.05, 0.00,0.05);
muPos  = trimf_local(e, 0.00, 0.05,0.10);

qNeg = -1;
qZero = 0;
qPos = 1;

den = muNeg + muZero + muPos;
if den == 0
    dQ = 0;
else
    dQ = (muNeg*qNeg + muZero*qZero + muPos*qPos)/den;
end

fprintf('Voltage error e = %.4f pu\n',e)
fprintf('muNeg  = %.4f\n',muNeg)
fprintf('muZero = %.4f\n',muZero)
fprintf('muPos  = %.4f\n',muPos)
fprintf('Normalized reactive-power command dQ = %.4f\n',dQ)

x = linspace(-0.10,0.10,500);
neg = arrayfun(@(z) trimf_local(z,-0.10,-0.05,0.00),x);
zer = arrayfun(@(z) trimf_local(z,-0.05,0.00,0.05),x);
pos = arrayfun(@(z) trimf_local(z,0.00,0.05,0.10),x);

figure
plot(x,neg,'LineWidth',1.6); hold on
plot(x,zer,'LineWidth',1.6)
plot(x,pos,'LineWidth',1.6)
grid on
xlabel('Voltage Error e [pu]')
ylabel('Membership Degree')
legend('Negative','Zero','Positive','Location','best')
title('Fuzzy Membership Functions')
```

10. البرنامج الكامل في MATLAB

يحسب البرنامج خطأ الجهد ودرجات العضوية وأمر القدرة الردية، ثم يرسم دوال العضوية.

11. Controller Response Over the Full Range

```
dQcurve = zeros(size(x));
for k = 1:numel(x)
    mn = trimf_local(x(k),-0.10,-0.05,0.00);
    mz = trimf_local(x(k),-0.05,0.00,0.05);
    mp = trimf_local(x(k),0.00,0.05,0.10);
    d = mn + mz + mp;
    if d > 0
        dQcurve(k) = (mn*qNeg + mz*qZero + mp*qPos)/d;
    end
end

figure
plot(x,dQcurve,'LineWidth',1.6)
grid on
xlabel('Voltage Error e [pu]')
ylabel('Normalized dQ')
title('Fuzzy Voltage-Controller Response')
```

11. استجابة المتحكم على كامل المجال

يوضح المنحنى كيف يتغير أمر القدرة الردية بسلاسة مع تغير خطأ الجهد.

12. Physical Interpretation

e > 0
Voltage is low, so the controller requests more reactive-power support.

e ≈ 0
Voltage is acceptable, so little or no action is required.

e < 0
Voltage is high, so reactive-power support is reduced.

12. التفسير الفيزيائي

الخطأ الموجب يؤدي إلى دعم الجهد، والخطأ السالب يؤدي إلى تقليل هذا الدعم، أما الخطأ القريب من الصفر فيؤدي إلى أمر صغير.

13. Experiments

1. Change V between 0.90 and 1.10 pu.
2. Change membership-function widths.
3. Change singleton outputs.
4. Compare smooth fuzzy control with hard switching.
5. Add a second input such as change of error.

13. التجارب

1. غيّر V بين 0.90 و1.10 pu.
2. غيّر عرض دوال العضوية.
3. غيّر قيم مخارج Singleton.
4. قارن التحكم الضبابي بالتبديل الحاد.
5. أضف دخلًا ثانيًا مثل تغير الخطأ.

14. Lab Tasks

1. Run the complete program.
2. Record memberships for e=0.04 pu.
3. Calculate dQ manually and compare with MATLAB.
4. Plot all membership functions.
5. Plot the controller response.
6. Explain why overlapping sets produce smooth control.

14. مهام المختبر

1. شغّل البرنامج الكامل.
2. سجل درجات العضوية عند e=0.04 pu.
3. احسب dQ يدويًا وقارنه مع MATLAB.
4. ارسم دوال العضوية.
5. ارسم استجابة المتحكم.
6. اشرح سبب سلاسة التحكم عند تداخل المجموعات.

📝 Questions

1. What does a positive voltage error mean?
2. What is fuzzification?
3. Why do fuzzy sets overlap?
4. How are rules activated?
5. How is the crisp dQ calculated?
6. What happens if all memberships equal zero?
7. How can this controller be extended to two inputs?

📝 أسئلة المختبر

1. ماذا يعني خطأ جهد موجب؟
2. ما المقصود بالتضبيب؟
3. لماذا تتداخل المجموعات الضبابية؟
4. كيف يتم تفعيل القواعد؟
5. كيف يتم حساب dQ العددي؟
6. ماذا يحدث إذا كانت جميع درجات العضوية صفرًا؟
7. كيف يمكن توسيع المتحكم إلى دخلين؟

References | المراجع

المراجع العامة المستخدمة في هذا المقرر

[1] A. Gabash, *Flexible Optimal Operations of Energy Supply Networks with Renewable Energy Generation and Battery Storage*. Saarbrücken, Germany: Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften, 2014.

[2] S. J. Russell and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 4th Global ed. Harlow, U.K.: Pearson Education Limited, 2022.

[3] A. Gabash, “Energy Market Transition and Climate Change: A Review of TSOs-DSOs C+++ Framework from 1800 to Present,” *Energies*, vol. 16, no. 17, Art. no. 6139, 2023, doi: 10.3390/en16176139.

[4] A. Gabash, *AI Applications in Electrical Power Systems*, Version 1.0, 2026. [Online]. Available: https://aoussgabash.com

Publication Information | معلومات النشر

Document	Laboratory 02 · Fuzzy Logic Voltage Control
Course	AI Applications in Electrical Power Systems
Author	Dr.-Ing. Aouss Gabash
Version	1.0
Publication year	2026
Official website	https://aoussgabash.com
Citation style	IEEE

Recommended citation:
Gabash, A. (2026). Fuzzy Logic Voltage Control. AI Applications in Electrical Power Systems, Laboratory 02, Version 1.0. https://aoussgabash.com

المرجع المقترح:

أوس غباش، 2026، مخبر 02، تطبيقات الذكاء الاصطناعي في أنظمة الطاقة الكهربائية، الإصدار 1.0، https://aoussgabash.com

© 2026 Dr.-Ing. Aouss Gabash. Educational use with attribution to the author and official website.