LAB 20 | المختبر 20

Autonomous Microgrid Supervisor

مشرف ذاتي التشغيل لشبكة مصغرة

Integrated MATLAB Capstone with Forecasting, Battery Scheduling, Anomaly Detection, and Safety Filtering

مشروع MATLAB متكامل للتنبؤ وجدولة البطارية وكشف الشذوذ ومرشح الأمان

Architecture | Model | Workflow | MATLAB Code | Validation | Tasks

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

⚡

MATLAB Lab 20

المختبر 20

90 min · Advanced | متقدم

Lecture 20

فتح المحاضرة 20

Read Lecture | قراءة المحاضرة

→

↓

Download Lab PDF

تحميل المختبر بصيغة PDF

Prepared by Dr.-Ing. Aouss Gabash

→

🎯 Laboratory Objectives

- Simulate a 24-hour microgrid with load, PV, battery, and grid exchange.
- Validate measurements and detect anomalies.
- Forecast one hour ahead using a transparent predictor.
- Schedule battery actions economically.
- Apply deterministic SOC and grid-power safety filters.
- Compare autonomous operation with a no-control baseline.
- Integrate modules developed throughout the course.

🎯 أهداف المخبر

- محاكاة شبكة مصغرة لمدة 24 ساعة.
- التحقق من القياسات وكشف الشذوذ.
- التنبؤ بالساعة التالية.
- جدولة البطارية اقتصاديًا.
- تطبيق حدود SOC وقدرة الشبكة.
- المقارنة مع خط أساس دون تحكم.
- دمج وحدات المقرر ضمن مشروع واحد.

1. Integrated Control Architecture

Measure → Validate → Forecast
→ Propose Action → Safety Filter → Execute

> Every autonomous action passes through deterministic safety checks before execution.

1. البنية المتكاملة للتحكم

تبدأ بالقياس والتحقق ثم التنبؤ واقتراح القرار وفلترته قبل التنفيذ.

2. Mathematical Model

$$Pgrid = Pload - PPV - Pbatt$$

$$SOCk + 1 = SOCk + \eta cPc/E - Pd/(\eta dE)$$

$$Cost = \sum Pgrid, k \cdot Pricek$$

$$Psafe = Project(Pproposed, feasibleset)$$

The economic policy is subordinate to SOC, power, and grid-import constraints.

2. النموذج الرياضي

تحسب قدرة الشبكة من الحمل والطاقة الشمسية والبطارية، ثم يُسقط القرار على مجموعة الأفعال الآمنة.

3. Engineering Workflow

Create Profiles → Validate Data → Forecast Net Load →

Schedule Battery → Verify Safety

1. Create hourly load, PV, and price profiles.
2. Insert and detect one abnormal measurement.
3. Forecast net demand.
4. Propose charge, idle, or discharge actions.
5. Apply SOC and grid-limit constraints.
6. Evaluate cost, peak reduction, alarms, and violations.

3. سير العمل الهندسي

ننشئ البيانات ونتحقق منها ونتنبأ بالحمل الصافي ثم نقرر ونطبق مرشحات الأمان ونقيّم النتائج.

4. Complete MATLAB Script

```
%% Lab 20: Autonomous Microgrid Supervisor
clear; clc; close all; rng(20);

T = 24; hour = (0:T-1)';
loadKW = [2.1 2.0 1.9 1.8 1.9 2.3 3.0 3.8 4.4 4.7 4.5 4.2 ...
          4.0 4.1 4.5 5.2 6.0 6.8 6.4 5.7 4.9 4.1 3.2 2.6]';
pvKW = max(0,5.5*sin(pi*(hour-6)/12));
pvKW = pvKW.*(0.90+0.08*randn(T,1));
price = [0.18*ones(6,1);0.25*ones(10,1);0.42*ones(5,1);0.23*ones(3,1)];

loadMeasured = loadKW + 0.08*randn(T,1);
loadMeasured(18) = loadMeasured(18)+4.5;

capacity=12; pMax=3.0; etaC=0.95; etaD=0.95;
socMin=0.10; socMax=0.90; gridLimit=7.0;
soc=zeros(T+1,1); soc(1)=0.50;
batteryPower=zeros(T,1); gridPower=zeros(T,1);
forecastLoad=zeros(T,1); alarm=false(T,1); cost=zeros(T,1);

baselineGrid=max(0,loadKW-pvKW);
baselineCost=sum(baselineGrid.*price);

for k=1:T
    if k>=4
        recent=loadMeasured(k-3:k-1);
        mu=mean(recent); sigma=max(std(recent),0.05);
        zScore=abs(loadMeasured(k)-mu)/sigma;
        if zScore>4
            alarm(k)=true; validatedLoad=mu;
        else
            validatedLoad=loadMeasured(k);
        end
    else
        validatedLoad=loadMeasured(k);
    end

    if k==1
        forecastLoad(k)=validatedLoad;
    else
        forecastLoad(k)=0.65*validatedLoad+0.35*loadMeasured(k-1);
    end
    netForecast=forecastLoad(k)-pvKW(k);

    if price(k)<=0.20
        proposedPower=-pMax;
```

```
    elseif price(k)>=0.40
        proposedPower=pMax;
    else
        proposedPower=0;
    end
    if netForecast>gridLimit
        proposedPower=min(pMax,netForecast-gridLimit);
    end

    maxCharge=(socMax-soc(k))*capacity/etaC;
    maxDischarge=(soc(k)-socMin)*capacity*etaD;
    if proposedPower<0
        safePower=-min(-proposedPower,maxCharge);
    else
        safePower=min(proposedPower,maxDischarge);
    end

    rawGridPower=validatedLoad-pvKW(k)-safePower;
    if rawGridPower>gridLimit
        extra=min(rawGridPower-gridLimit,maxDischarge-safePower);
        safePower=safePower+max(0,extra);
    end

    batteryPower(k)=safePower;
    if safePower<0
        soc(k+1)=soc(k)+etaC*(-safePower)/capacity;
    else
        soc(k+1)=soc(k)-safePower/(etaD*capacity);
    end
    soc(k+1)=min(max(soc(k+1),socMin),socMax);

    gridPower(k)=max(0,validatedLoad-pvKW(k)-safePower);
    cost(k)=gridPower(k)*price(k);
end

autonomousCost=sum(cost);
saving=baselineCost-autonomousCost;
peakReduction=max(baselineGrid)-max(gridPower);

fprintf('Baseline cost   = %.2f EUR\n',baselineCost);
fprintf('Autonomous cost = %.2f EUR\n',autonomousCost);
fprintf('Saving          = %.2f EUR\n',saving);
fprintf('Peak reduction  = %.2f kW\n',peakReduction);
fprintf('Detected alarms = %d\n',sum(alarm));
```

```
figure;
plot(hour,loadMeasured,'o-'); hold on;
plot(hour,loadKW,'k','LineWidth',1.4);
stem(hour(alarm),loadMeasured(alarm),'r'); grid on;
legend('Measured','True','Alarm'); xlabel('Hour'); ylabel('Load (kW)');

figure; stairs(0:T,soc,'LineWidth',1.5); grid on;
xlabel('Hour'); ylabel('SOC');

figure; stairs(hour,batteryPower,'LineWidth',1.4); grid on;
xlabel('Hour'); ylabel('Battery Power (kW)');

figure;
plot(hour,baselineGrid,'--'); hold on;
plot(hour,gridPower,'LineWidth',1.5); yline(gridLimit,'r:'); grid on;
legend('Baseline','Autonomous','Grid Limit');
xlabel('Hour'); ylabel('Grid Import (kW)');
```

4. كود **MATLAB** الكامل

ينفذ الكود حلقة ذاتية تشمل التحقق من القياسات والتنبؤ والقرار الاقتصادي ومرشحات الأمان والتنفيذ وتقييم الأداء.

5. Expected Results and Validation

Cost
Autonomous cost should be lower than the baseline.

Peak Reduction
Grid import should remain closer to the limit.

SOC Safety
SOC must stay between 0.10 and 0.90.

Anomaly Detection
The injected abnormal measurement should be flagged.

- Check cost savings and peak reduction.
- Verify zero SOC-limit violations.
- Measure forecast error.
- Report alarm precision and recall when multiple anomalies are added.
- Test PV forecast error and communication outages.

A successful capstone must be economical, safe, explainable, and robust—not merely functional.

5. النتائج المتوقعة والتحقق

يجب خفض الكلفة والذروة مع الحفاظ على حدود SOC وكشف القياس الشاذ دون إنذارات مفرطة.

6. Student Tasks

1. Replace the forecast with the LSTM from Lab 09.
2. Replace the rule policy with the DQN from Lab 12.
3. Add a GNN state-estimation module.
4. Simulate PV forecast error.
5. Simulate communication loss.
6. Add human approval for high-impact actions.
7. Compare rule-based, optimization-based, and RL control.

6. مهام الطالب

1. استبدال التنبؤ بـ LSTM.
2. استبدال السياسة بوكيل DQN.
3. إضافة تقدير حالة باستخدام GNN.
4. إضافة خطأ توقع PV.
5. محاكاة انقطاع الاتصال.
6. إضافة موافقة بشرية للقرارات المهمة.
7. مقارنة التحكم القاعدي والتحسيني وRL.

🔬 Research Extension

Full autonomous-grid prototype: connect forecasting, digital twin, anomaly detection, optimization, safety filtering, uncertainty estimation, and operator assistance in one verified architecture.

🔬 امتداد بحثي

اربط التنبؤ والتوأم الرقمي وكشف الشذوذ والتحسين ومرشح الأمان وعدم اليقين ومساعد المشغل ضمن بنية واحدة.

🧠 Review Questions

1. Why must measurement validation precede control?
2. How does the safety filter modify actions?
3. What is the difference between forecast error and anomaly?
4. Why is a baseline comparison necessary?
5. How should uncertainty reduce autonomous authority?
6. Which modules require human oversight?
7. How can this supervisor be validated before deployment?

🧠 أسئلة المراجعة

1. لماذا يسبق التحقق من القياس عملية التحكم؟
2. كيف يعدل مرشح الأمان القرار؟
3. ما الفرق بين خطأ التنبؤ والشذوذ؟
4. لماذا نحتاج خط أساس للمقارنة؟
5. كيف يؤثر عدم اليقين في صلاحيات النظام؟
6. ما الوحدات التي تحتاج إشرافًا بشريًا؟
7. كيف نتحقق من المشرف قبل النشر؟

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 20 · Autonomous Microgrid Supervisor
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). Autonomous Microgrid Supervisor. AI Applications in Electrical Power Systems, Laboratory 20, Version 1.0. https://aoussgabash.com

المرجع المقترح:

أوس غباش، 2026، مخبر 20، 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.