Uma imagem com Tipo de letra, logótipo, Gráficos, captura de ecrã

Descrição gerada automaticamente

Instituto Superior Técnico

[Analítica](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/disciplinas/ADRI36/2024-2025/2-semestre) de Dados para Redes Inteligentes

MEEC

6º Laboratório – Identificação de Fase

**Grupo: 13**

**Autores:**

Francisco Tavares (103402)

Marta Valente (103574)

[francisco.carreira.tavares@tecnico.ulisboa.pt](mailto:francisco.carreira.tavares@tecnico.ulisboa.pt)

[marta.valente@tecnico.ulisboa.pt](mailto:marta.valente@tecnico.ulisboa.pt)

2º Semestre – 3º Período – 2024/2025

## **Problema 6**

A correta identificação das fases a que os consumidores estão ligados (A, B ou C) é essencial para o balanceamento de cargas e a garantia da qualidade de serviço em redes de distribuição de baixa tensão. Este problema adquire especial relevância em redes trifásicas desequilibradas com consumidores monofásicos, onde a informação de conectividade nem sempre está disponível.

Neste laboratório, aplicámos o método dos mínimos quadrados (**LS – Least Squares**) para a identificação de fases, com base em dados de tensão trifásica obtidos por simulação. A metodologia baseia-se na formulação do sistema de equações:

onde:

* representa o vetor das diferenças entre as tensões de referência (idealmente balanceadas) e as tensões medidas no nó terminal da rede,
* é a matriz construída com base nos consumos dos clientes, na topologia da rede e nos parâmetros de impedância,
* contém os coeficientes associados a cada cliente e fase, sendo utilizados para inferir a ligação de fase de cada consumidor.

A identificação da fase é realizada com base na **parte real** dos coeficientes – sendo atribuída a cada cliente a fase correspondente à componente com maior valor real entre , e .

Inicialmente, a rede considerada contém 4 nós e 3 ramos, modelados através de impedâncias trifásicas. Foram definidos perfis de carga para 4 consumidores ao longo de 12 instantes temporais (intervalos de 15 minutos). As tensões foram obtidas através de simulação de Power Flow trifásico desequilibrado, implementado em Python.

De seguida, a construção das matrizes necessárias para a identificação de fase baseia-se nas medições de tensão simuladas pela função pf3ph, que modela a propagação das tensões em cada nó da rede, tendo em conta a topologia e os perfis de carga. O vetor é obtido como a diferença entre a tensão de referência (idealmente balanceada) e as tensões efetivamente medidas nos nós. Já a matriz é construída integrando o modelo de impedância da rede e uma rotação de fase complexa , que permite capturar o acoplamento entre as diferentes fases. A resolução do sistema linear é feita através da pseudo-inversa de , resultando no vetor , cujas componentes representam a contribuição de cada fase para cada consumidor. A fase correspondente a cada cliente é então determinada pela componente de com maior valor real em cada tripla .

Após a execução do método, obtivemos as seguintes fases identificadas para os consumidores:

* Clientes 1 e 4: Fase C
* Cliente 2: Fase B
* Cliente 3: Fase A

que podemos verificar no gráfico da *Figura 1*.

**A graph of a graph

AI-generated content may be incorrect.**

Figura : Identificação de fase (modelo base)

Os resultados obtidos confirmam a eficácia do método dos mínimos quadrados na identificação correta das fases dos consumidores. Esta elevada precisão deve-se, principalmente, à consistência dos dados simulados e à ausência de ruído nas medições, o que contribui para uma correspondência fiável entre os perfis de carga e as variações de tensão observadas.

De facto, observa-se uma separação clara entre as fases ao nível da componente real dos coeficientes β, o que facilita a atribuição correta das fases. Além disso, as variações de tensão seguem padrões coerentes com os perfis de consumo impostos, reforçando a validade da abordagem adotada e a robustez da modelação desenvolvida.

## **Desafios Extra**

1. **Identificação de fase com o indicador no nó 1.**

No contexto do método adotado, a escolha do nó de referência (ou indicador de fase) pode influenciar os valores numéricos obtidos no sistema de identificação. Por esta razão, considerámos pertinente avaliar a **robustez do método** face a alterações neste parâmetro, testando um cenário alternativo.

Neste desafio, redefinimos o nó de referência para o nó 1 (anteriormente utilizávamos o nó 4). Para tal, mantivemos a carga para todos os consumidores e recalculamos as tensões e coeficientes beta com base na nova configuração. Todo o pipeline restante - construção das matrizes e , resolução do sistema e análise dos resultados - manteve-se inalterado.

Uma imagem com texto, diagrama, file, Esquema

Os conteúdos gerados por IA poderão estar incorretos.

Figura : Identificação de Fase (Indicador no nó 1)

Após a execução do método, obtivemos as seguintes fases identificadas para os consumidores:

* Clientes 1 e 4: Fase C
* Cliente 2: Fase B
* Cliente 3: Fase A

Apesar das diferenças nas tensões medidas e nas magnitudes dos coeficientes β, a atribuição final das fases aos consumidores manteve-se inalterada. Esta estabilidade evidencia a robustez do método dos mínimos quadrados, que demonstra ser resiliente a variações na localização do nó de medição.

Embora a alteração do nó de referência influencie os valores absolutos das tensões observadas e, consequentemente, os coeficientes do modelo, o mecanismo de identificação baseado na componente real dominante de β continua a produzir resultados corretos. Tal comportamento confirma que a estrutura do sistema de equações é sólida e que o modelo é capaz de generalizar adequadamente mesmo em diferentes cenários de medição.

Além disso, ainda que os gráficos de variação de tensão apresentem diferenças visuais face ao caso base, estas são coerentes com a nova localização do ponto de medição e não afetam a lógica da identificação de fase. Assim, conclui-se que o algoritmo mantém uma boa precisão mesmo quando sujeito a alterações na topologia de observação, reforçando a sua aplicabilidade em contextos reais com diferentes configurações de monitorização.

1. **Variação dos valores de ruido.**

Em cenários reais, as medições de tensão estão inevitavelmente sujeitas a ruído, seja por limitações dos sensores, interferências eletromagnéticas ou variações transitórias na rede. Assim, é crucial avaliar a robustez do método dos mínimos quadrados (LS) face a diferentes níveis de ruído nas medições.

Com esse objetivo, realizámos simulações variando o fator de ruído entre 0% e 0.01 (1%), aplicando ruído multiplicativo gaussiano às tensões medidas. Para cada nível de ruído, repetimos os testes com 5 seeds aleatórias, garantindo repetibilidade e maior confiança estatística. Em cada caso, comparámos os resultados com a fase identificada no cenário sem ruído, considerado a baseline.

A métrica utilizada foi a percentagem de acertos na atribuição correta das fases aos quatro consumidores. Os resultados foram agregados e apresentados na *Figura 3*, com a precisão média para os indicadores colocados no nó 1 (início da rede) e no nó 4 (fim da rede).

Uma imagem com texto, file, diagrama, Gráfico

Os conteúdos gerados por IA poderão estar incorretos.

Figura : Comparação da robustez dos testes

* 0% de ruído: o método atinge 100% de precisão no nó 4 e 88% no nó 1.
* À medida que o ruído aumenta, a precisão diminui gradualmente em ambos os casos.

Os resultados confirmam que o método dos mínimos quadrados é robusto face a níveis baixos e moderados de ruído. A precisão mantém-se elevada até cerca de 0.003 de ruído (0.3%), e mesmo para níveis mais elevados, a degradação é controlada.

Contrariamente à intuição inicial, os resultados demonstram que o nó 4 (final da rede) apresenta uma maior precisão na identificação das fases face ao nó 1. Isto pode estar relacionado com a propagação do ruído e atenuação dos efeitos das cargas ao longo da rede, que afetam de forma distinta as medições realizadas em diferentes pontos. Assim, a colocação do indicador no final da rede (nó 4) parece ser mais favorável para este método de identificação, ao contrário do que se esperaria numa rede ideal com medição perfeita.