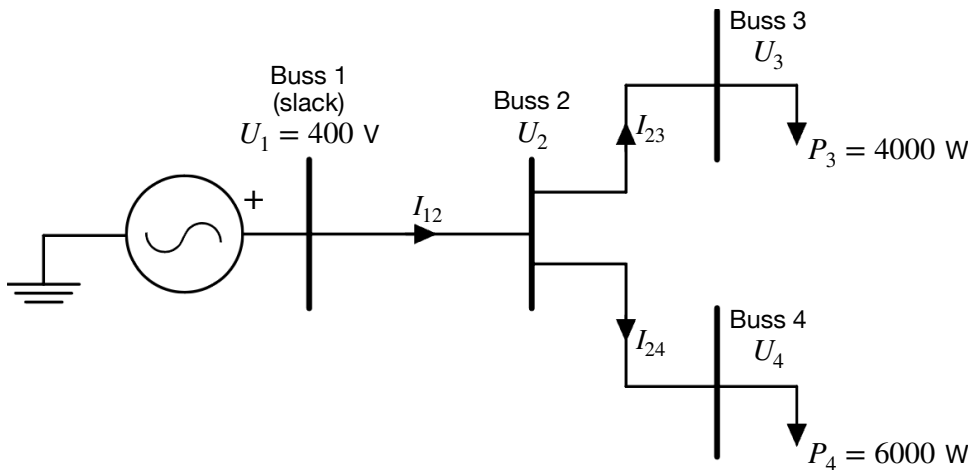


# Lektion 5

## 5.1

Figuren nedan visar ett enfaslinschema över ett distributionsnät bestående av 4 bussar, samankopplade med hjälp av tre ledningar med resistansen  $R = 1[\Omega]$ . Uppgiften är att bestämma effekten  $P_1$  som måste produceras vid buss 1, samt spänningarna  $U_3$  och  $U_4$  vid buss 3 och 4. För att lösa detta behöver ett ekvationssystem ställas upp och lösas, vilket kan bli svårbehandlat om antalet bussar i nätet är stort. I denna uppgift ska vi därför använda en alternativ lösningsmetod där en approximativ lösning tas fram iterativt.



Figur 1: Enlinschema till uppgift 5.1.

Iterationerna startar, vid steg 1, genom att ansätta alla okända spänningar till spänningen vid slack-bussen, dvs  $U_k = U_1$  för  $k = 2, 3, 4$ . Utifrån dessa spänningar beräknas sedan strömmarna som krävs för att effekterna  $P_3$  och  $P_4$  ska bli korrekta (samt strömbalans vid buss 2), givet de ansatta spänningarna. På detta vis erhålls en uppsättning spänningar  $(U_2^{(1)}, U_3^{(1)}, U_4^{(1)})$  och strömmar  $(I_{12}^{(1)}, I_{23}^{(1)}, I_{24}^{(1)})$  som kan ses som en approximativ lösning av problemet. Lösningemetoden går nu ut på att iterativt förbättra denna lösning genom att vid varje iteration  $k$  utföra följande två steg:

**Steg 1:** Först används strömmarna från föregående iteration  $(k - 1)$  för att beräkna spänningsfallet  $\Delta U_{12}$  i ledningen mellan buss 1 och 2, vilket sedan används för att uppdatera spänningen vid buss 2 enligt  $U_2^{(k)} = U_1^{(k)} - \Delta U_{12}$ . Övriga spänningar uppdateras sedan på motsvarande sätt vilket resulterar i en ny uppsättning spänningar  $(U_2^{(k)}, U_3^{(k)}, U_4^{(k)})$ .

**Steg 2:** Efter att de nya spänningar bestämts beräknas sedan motsvarande strömmar för att erhålla de korrekta effekterna  $P_3$  och  $P_4$ , på samma sätt som tidigare, vilket resulterar i en ny uppsättning strömmar  $(I_{12}^{(k)}, I_{23}^{(k)}, I_{24}^{(k)})$ .

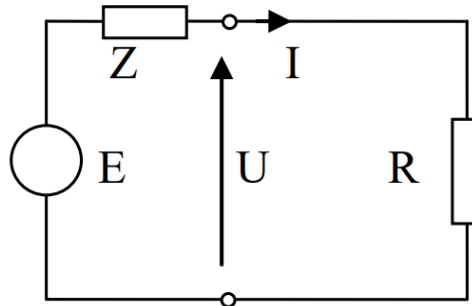
Efter att de två stegen utförts kan sedan en ny iteration startas eller så kan beräkningarna avbrytas, beroende på om noggrannheten i nuvarande lösning är tillräcklig.

Utför ett antal iterationer (åtminstone två) av lösningemetoden och fyll i tabellen nedan. Hur kan man se om lösningen har konvergerat?

$k$	$U_1^{(k)}$	$U_2^{(k)}$	$U_3^{(k)}$	$U_4^{(k)}$	$I_{12}^{(k)}$	$I_{23}^{(k)}$	$I_{24}^{(k)}$	$P_1^{(k)}$
1								
2								
3								
4								
5								

## 5.2

En punkt i elnätet kan modelleras som en Thevenin-ekvivalent krets med en källa  $E$  i serie med en impedans  $Z$ , se Figur 2. För transformatorer och högspänningsledningar dominerar serieimpedansen  $Z$  av reaktans, vilket är bättre än resistans; visa att så är fallet genom att visa att spänningen  $U$  över en resistiv last  $R$  är lägre om impedansen i nätet är resistiv med  $Z = R$  än om den är lika stor och reaktiv med  $X = R$ .



Figur 2: Thevenin-ekvivalent till övning 5.2.

## 5.3

En 25 m lång kabel, bestående av två ledare med samma tvärsnittsarea, kopplar en resistiv last till ett enfasuttag. I denna uppgift ska vi undersöka hur kabelns tvärsnittsarea samt material påverkar dess egenskaper. Tabellen direkt nedanför innehåller materialegenskaper för koppar samt aluminium, och uppgiften är att fylla i de saknade uppgifterna i tabellen längre ned.

Material	Resistivitet [ $n\Omega$ ]	Densitet [ $kg/m^3$ ]
Koppar	16.7	8960
Aluminium	26.5	2700

- a) Beräkna kabelns resistans för de olika specifikationerna i tabellen. Använd formeln

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

där  $\rho$  är materialets resistivitet,  $L$  är kabelns längd, samt  $A$  dess tvärsnittsarea.

- b) Hitta ett uttryck för hur spänningsfallet, med avseende på spänningen mellan kabelns ledare, beror på resistansen  $R$  i en av kabelns ledare, samt strömmen  $I$  genom kabeln. Här är det viktigt att tänka på att kabeln består av två stycken ledare, en som kopplar lasten till en fas, samt en returkabeln som kopplar lasten till nollan. Beräkna även spänningsfallet för de olika specifikationerna och fyll i tabellen.

- c) Beräkna kabelns vikt för de olika specifikationerna.

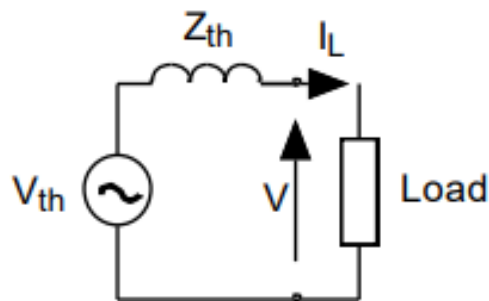
Material	Area [ $mm^2$ ]	Ström [A]	Resistans [ $\Omega$ ]	Spänningsfall [V]	Vikt [kg]
Koppar	1.5	10			
Koppar	2.5	10			
Aluminium	1.5	10			
Aluminium	2.5	10			

## 5.4

I uppgift 5.1 undersöktes spänningsfallet för en enfaskabel; i denna uppgift ska vi istället undersöka spänningsfallet för en kabel bestående av tre likadana ledare som kopplar en balanserad, resistiv last till ett trefasuttag. Hitta ett uttryck för spänningsfallet beroende på beloppet på linjeströmmarna,  $I$ , samt resistansen  $R$  i en ledning, både i termer av spänningsfall i fasspänning och i huvudspänning.

## 5.5

En gård matas från en 10 kV buss genom en luftledning och en trefas-transformator. Den elektriska belastningen på gården består av hushållsapparater och två pumpar som drivs av induktionsmotorer. Vid 400 V drar denna belastning en ström på 303 A med en effektfaktor på 1,0, dvs gården är faskompenserad. Strömmen är konstant och oberoende av spänningen. Nedan visas det per enhet Thevenin-ekvivalent systemet för en fas. Ta fram spänningen över lasten i både per enhet och i V. Använd följande värden:  $V_{th} = 1$  pu,  $Z_{th} = j0.1525$  pu. Börja med att först ange strömmen genom lasten i per enhet om  $Z_{base,2} = 0.64 \Omega$ .

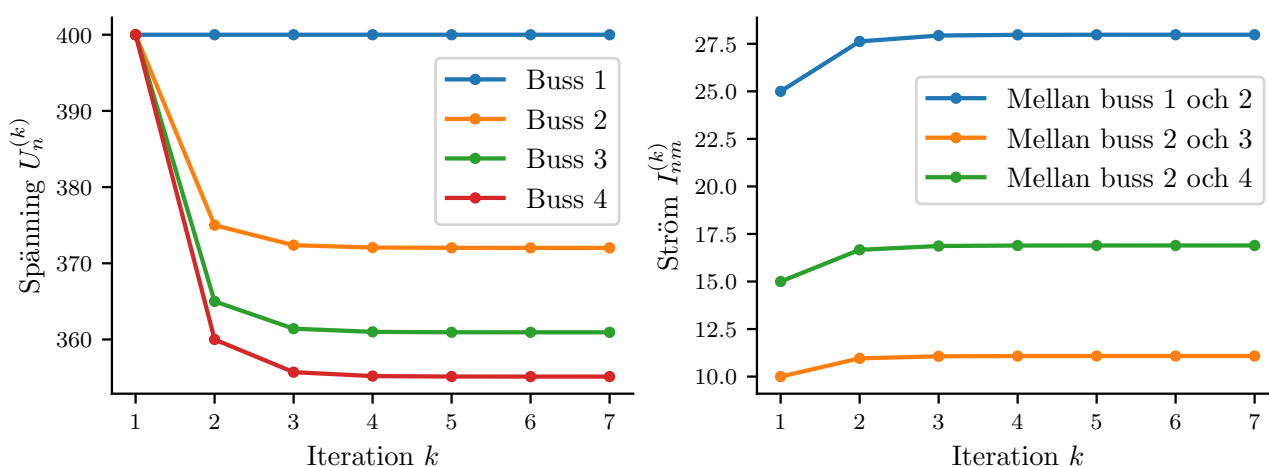


Figur 3: Thevenin-ekvivalent till övning 5.5.

## Facit

5.1 Genom att jämföra värdena från två på varandra följande iterationer kan man se om lösningen konvergerat – om det är lite skillnad mellan dem så har lösningen konvergerat.

$k$	$U_1^{(k)}$	$U_2^{(k)}$	$U_3^{(k)}$	$U_4^{(k)}$	$I_{12}^{(k)}$	$I_{23}^{(k)}$	$I_{24}^{(k)}$	$P_1^{(k)}$
1	400	400	400	400	25	10	15	10000
2	400	375	365	360	27.626	10.959	16.667	11050
3	400	372.37	361.42	355.71	27.935	11.068	16.868	11174
4	400	372.06	361	355.2	27.972	11.08	16.892	11189
5	400	372.03	360.95	355.14	27.977	11.082	16.895	11191
6	400	372.02	360.94	355.13	27.977	11.082	16.895	11191
7	400	372.02	360.94	355.13	27.978	11.082	16.895	11191



Figur 4: Spänningar och strömmar som funktion av iterations steg.

5.2  $\frac{E}{\sqrt{2}} > \frac{E}{2}$

5.3 Spänningsfallet över kabel blir  $\Delta U = 2IR$ .

Material	Area [mm <sup>2</sup> ]	Ström [A]	Resistans [ $\Omega$ ]	Spänningsfall [V]	Vikt [kg]
Koppar	1.5	10	0.2783	5.567	0.336
Koppar	2.5	10	0.167	3.34	0.56
Aluminium	1.5	10	0.4417	8.833	0.1013
Aluminium	2.5	10	0.265	5.3	0.1688

5.4 Spänningsfallen blir  $\Delta U_F = IR$  och  $\Delta U_H = \sqrt{3}IR$  för fas- respektive huvudspänning.

5.5  $I = 0.84$  pu,  $V = 0.99$  pu,  $V = 229$  V.