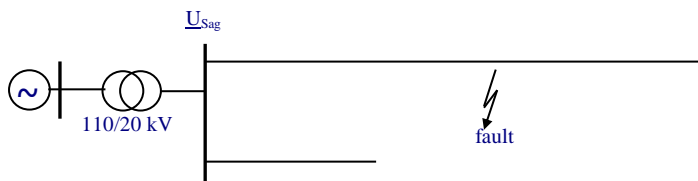


- 1) Kolmivaiheinen vastukseton oikosulku tapahtuu 20 kV lähdöllä etäisyydellä 1 km, 3 km, 5 km, 8 km, 10 km ja 20 km 110/20 kV sähköasemasta. Mikä on vianaikainen jäljellejäävän jännitteen arvo U_{sag} sähköaseman 20 kV kiskossa tyypillisessä maaseutu- ja kaupunkiverkossa? Kuormavirtoja ei huomioida. Syöttävän 110 kV verkon impedanssissa ei ole resistiivistä osaa. Mitkä verkon ominaisuudet edesauttavat siihen, että vian aikainen sähköaseman jännite olisi mahdollisimman korkea?

A three-phase short circuit occurs in a 20 kV feeder at a distance of 1 km, 3 km, 5 km, 8 km, 10 km or 20 km from a 110/20 kV substation. What is the remaining sagged voltage U_{sag} at the 20 kV busbar of the substation during the fault in a typical rural and urban network? Load currents are not taken into account. The impedance of the supplying 110 kV network includes no resistive part, only reactance. Which network characteristics contribute to higher remaining sagged voltage during the fault?

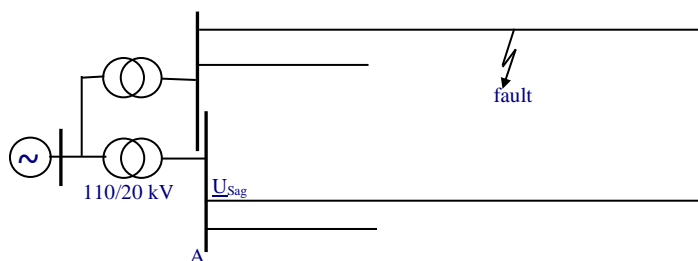
	rural	urban
110 kV short circuit current	$I_k = 5 \text{ kA}$	$I_k = 20 \text{ kA}$
110/20 kV transformer	$S = 16 \text{ MVA}, x_k = 10\%$	$S = 40 \text{ MVA}, x_k = 12\%$
feeder impedance	$\underline{z} = 0.4+i0.4 \text{ } \Omega/\text{km}$	$\underline{z} = 0.25+i0.13 \text{ } \Omega/\text{km}$



Kuva 1. / Fig. 1.

- 2) Oleta, että edellisessä tehtävässä sähköasemalla onkin kaksi samanlaista päämuuntajaa ja tilanne on kuvan 2 mukainen. Kolmivaiheinen oikosulku tapahtuu naapurimuuntajan takana 1 km, 3 km, 5 km, 8 km, 10 km ja 20 km etäisyydellä sähköasemasta. Laske kiskon jännite pisteessä A terveessä keskijänniteverkossa.

Suppose that in the previous exercise the substation has two main transformers and that the 3-phase short circuit occurs behind the neighbouring transformer at a distance of 1 km, 3 km, 5 km, 8 km, 10 km or 20 km from the 110/20 kV substation. Calculate the voltage seen in the substation busbar at point A in the sound medium voltage network.



Kuva 2. / Fig. 2.

S-18.3153 Sähkön jakelu ja markkinat

S-18.3154 Electricity Distribution and Markets

Tehtävä 1 / Task 1

Maaseutu / Rural:

Syöttävä verkko / Supplying 110 kV system: $\underline{Z}_S = i * 110 \text{ kV} / (\sqrt{3} * 5 \text{ kA}) * (20/110)^2 = i 0.420 \Omega$

Muuntaja / Transformer $\underline{Z}_T = i 0.1 * (20^2 \text{ kV}^2 / 16 \text{ MVA}) = i 2.5 \Omega$

3 km johtoa / 3 km feeder $\underline{Z}_L = 3 \text{ km} * (0.4 + i0.4 \Omega/\text{km}) = 1.2 + i1.2 \Omega$

Vikaimpedanssi / Fault impedance $\underline{Z}_F = 0 \Omega$

$$\underline{U}_{\text{Sag}} = (\underline{Z}_L + \underline{Z}_F) / (\underline{Z}_S + \underline{Z}_T + \underline{Z}_L + \underline{Z}_F)$$

$$\underline{U}_{\text{Sag}} = \mathbf{39.6\% / -28.8^\circ}$$

Kaupunki / Urban:

Syöttävä verkko / Supplying 110 kV system: $\underline{Z}_S = i * 110 \text{ kV} / (\sqrt{3} * 20 \text{ kA}) * (20/110)^2 = i0.104 \Omega$

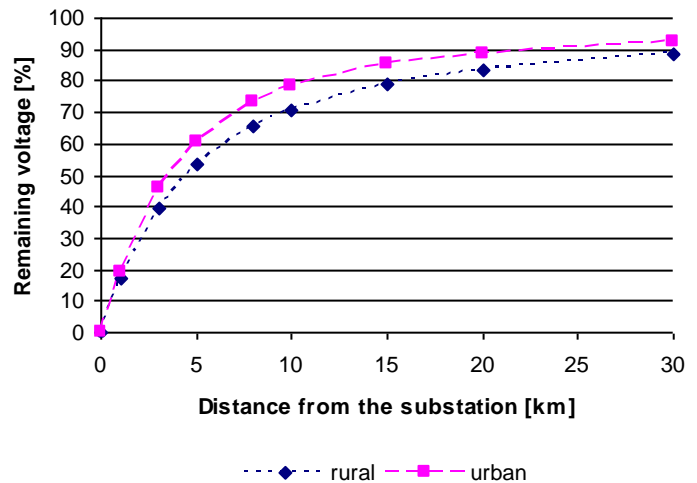
Muuntaja / Transformer $\underline{Z}_T = i 0.12 * (20^2 \text{ kV}^2 / 40 \text{ MVA}) = i 1.2 \Omega$

3 km johtoa / 3 km feeder $\underline{Z}_L = 3 \text{ km} * (0.25 + i0.13 \Omega/\text{km}) = 0.75 + i0.39 \Omega$

Vikaimpedanssi / Fault impedance $\underline{Z}_F = 0 \Omega$

$$\underline{U}_{\text{Sag}} = (\underline{Z}_L + \underline{Z}_F) / (\underline{Z}_S + \underline{Z}_T + \underline{Z}_L + \underline{Z}_F)$$

$$\underline{U}_{\text{Sag}} = \mathbf{45.6\% / -38.7^\circ}$$



Distance [km]	Rural		Urban	
	abs(Usag) [%]	arg(Usag) [degree]	abs(Usag) [%]	arg(Usag) [degree]
0	0.0	-90.0	0.0	-90.0
1	16.9	-38.1	19.3	-52.6
3	39.5	-28.8	45.6	-38.7
5	53.3	-22.9	60.7	-29.9
8	65.5	-17.4	73.1	-22.1
10	70.8	-15.0	78.0	-18.7
15	78.9	-11.1	85.1	-13.5
20	83.6	-8.8	88.8	-10.5
30	88.6	-6.2	92.6	-7.3

Korkeampi jäljellejäävä jännite: 1) voimakkaampi syöttävä verkko, 2) suurempi muuntaja, 3) isompi lähdön impedanssi (pienemmät poikkipinnat, viat kauempana sähköasemasta)

Higher remaining voltage: 1) Stronger supplying power system, 2) larger main transformer 3) higher feeder impedance (smaller cross section of feeders, fault further away from the substation)

Tehtävä 2 / Task 2

Maaseutu / Rural:

Syöttävä verkko / Supplying 110 kV system: $\underline{Z}_S = i * 110 \text{ kV} / (\sqrt{3} * 5 \text{ kA}) * (20/110)^2 = i 0.420 \Omega$

Muuntaja / Transformer $\underline{Z}_T = i 0.1 * (20^2 \text{ kV}^2 / 16 \text{ MVA}) = i 2.5 \Omega$

3 km johtoa / 3 km feeder $\underline{Z}_L = 3 \text{ km} * (0.4 + i0.4 \Omega/\text{km}) = 1.2 + i1.2 \Omega$

Vikaimpedanssi / Fault impedance $\underline{Z}_F = 0 \Omega$

$$\underline{U}_{\text{Sag}} = (\underline{Z}_T + \underline{Z}_L + \underline{Z}_F) / (\underline{Z}_S + \underline{Z}_T + \underline{Z}_L + \underline{Z}_F)$$

$$\underline{U}_{\text{Sag}} = \mathbf{90.6\% / -1.73^\circ}$$

Kaupunki / Urban:

Syöttävä verkko / Supplying 110 kV system: $\underline{Z}_S = i * 110 \text{ kV} / (\sqrt{3} * 20 \text{ kA}) * (20/110)^2 = i 0.104 \Omega$

Muuntaja / Transformer $\underline{Z}_T = i 0.12 * (20^2 \text{ kV}^2 / 40 \text{ MVA}) = i 1.2 \Omega$

3 km johtoa / 3 km feeder $\underline{Z}_L = 3 \text{ km} * (0.25 + i0.13 \Omega/\text{km}) = 0.75 + i0.39 \Omega$

Vikaimpedanssi / Fault impedance $\underline{Z}_F = 0 \Omega$

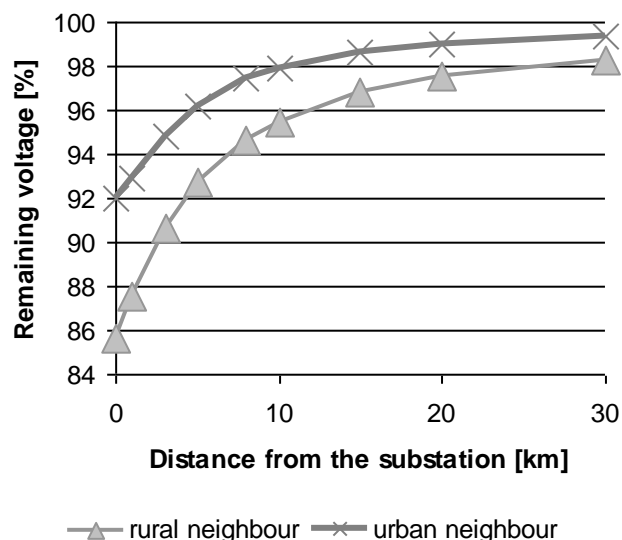
$$\underline{U}_{\text{Sag}} = (\underline{Z}_T + \underline{Z}_L + \underline{Z}_F) / (\underline{Z}_S + \underline{Z}_T + \underline{Z}_L + \underline{Z}_F)$$

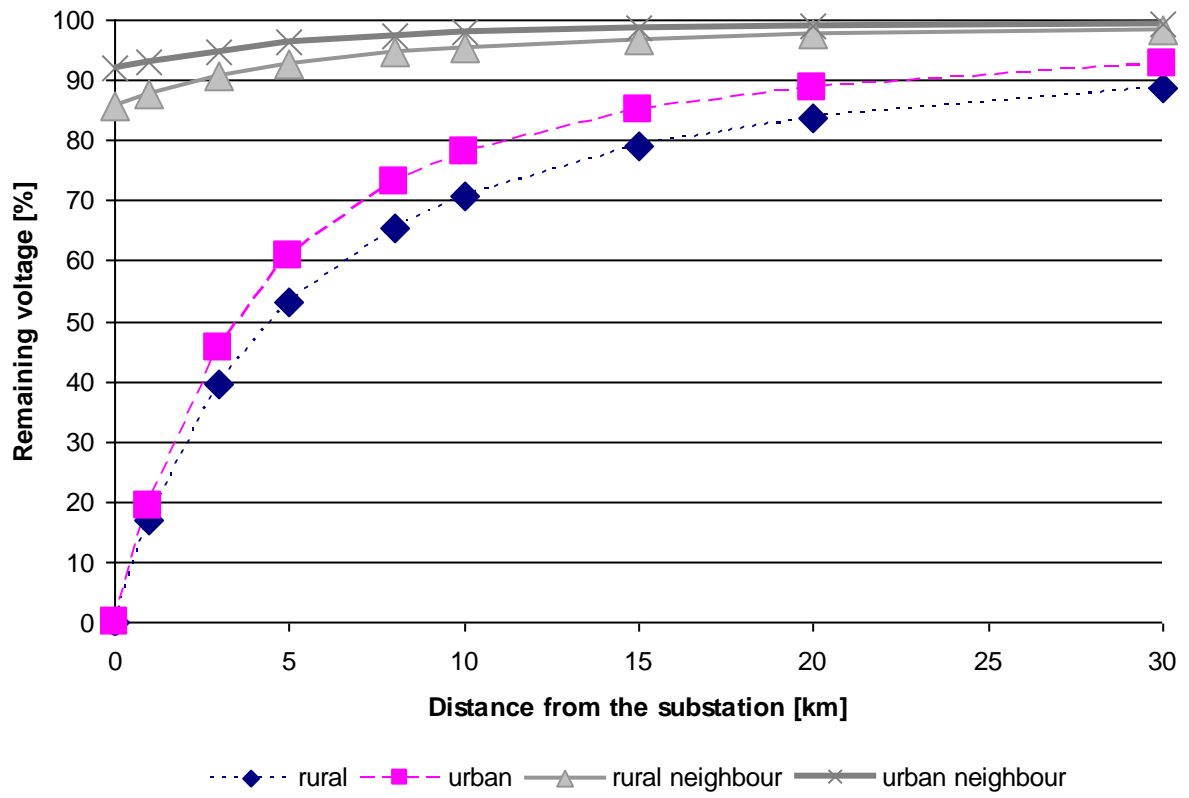
$$\underline{U}_{\text{Sag}} = \mathbf{94.8\% / -1.384^\circ}$$

Korkeampi jäljellejäävä jännite: 1) voimakkaampi syöttävä verkko, 2) pienempi muuntaja, 3) isompi lähdön impedanssi (pienemmät poikkipinnat, viat kauempana sähköasemasta)

Higher remaining voltage: 1) Stronger supplying power system, 2) smaller main transformer 3) higher feeder impedance (smaller cross section of feeders, fault further away from the substation)

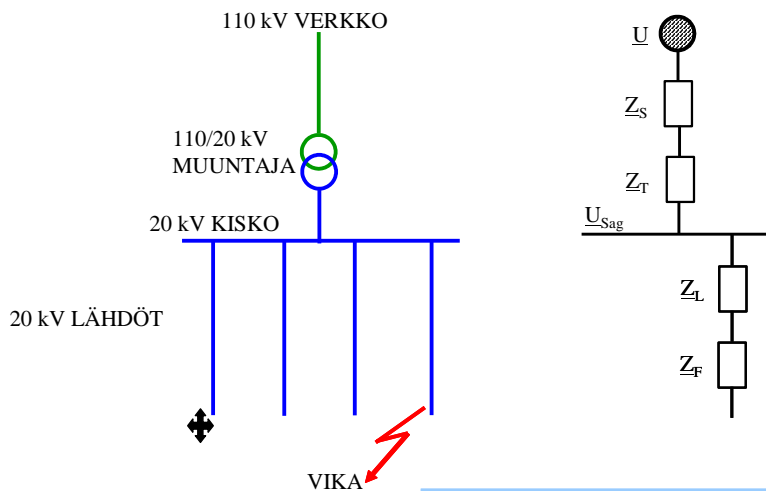
Distance [km]	Rural		Urban	
	abs(Usag) [%]	arg(Usag) [degree]	abs(Usag) [%]	arg(Usag) [degree]
0	85.6	0.0	92.0	0.0
1	87.5	-1.0	92.9	-0.8
3	90.6	-1.7	94.8	-1.4
5	92.7	-1.8	96.2	-1.5
8	94.7	-1.7	97.4	-1.3
10	95.5	-1.6	97.9	-1.2
15	96.8	-1.3	98.6	-0.9
20	97.5	-1.1	99.0	-0.8
30	98.3	-0.8	99.3	-0.5





FAULT IN A NEIGHBOURING FEEDER

VIKA NAAPURILÄHDÖLLÄ



$$\underline{U}_{\text{sag}} = \frac{\underline{Z}_L + \underline{Z}_F}{\underline{Z}_S + \underline{Z}_T + \underline{Z}_L + \underline{Z}_F} \cdot \underline{U}$$

U_{sag} = sähköaseman kiskon jännite vian aikana. Sähköaseman kiskon jännitteen notkahdus nähdään koko sähköaseman alueella. Mitä lähempänä sähköasemaa vika tapahtuu, sitä alempi on jäljellejäävän jännitteen arvo sähköaseman kiskossa.

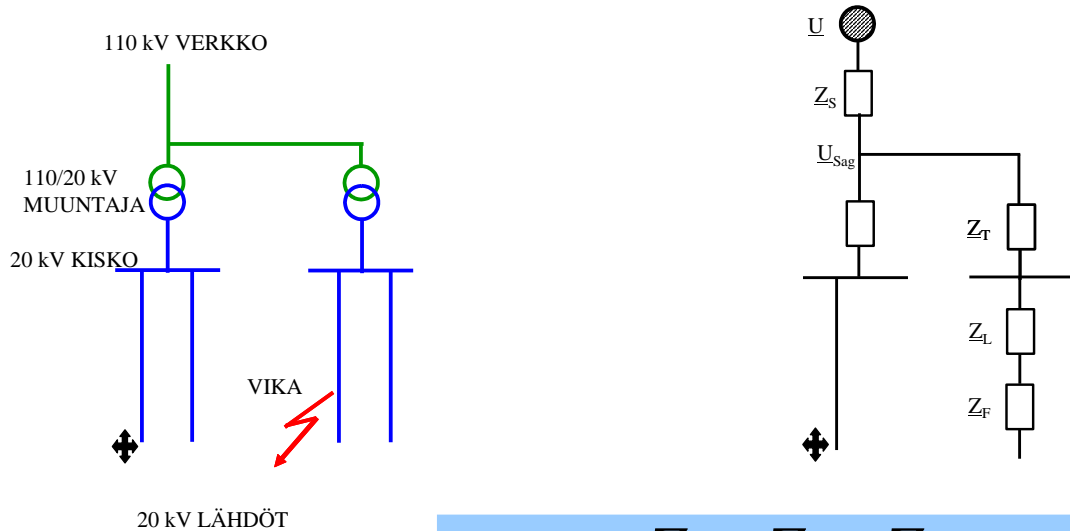
Ilmiö on nimeltään jännitekuoppa, jonka standardi SFS-EN 50160 määrittelee: Jännitteen äkillinen aleneminen välille 1%...90% nimellisestä sekä palautuminen lyhyen ajan kuluttua. Jännitekuopan kesto on tavallisesti 10 millisekunnista 1 minuuttiin.

U_{sag} = voltage of the substation busbar during the short circuit fault. This voltage is experienced all over the substation area. The closer to the substation the fault occurs, the lower is the remaining voltage on the substation busbar.

This phenomenon is called a voltage sag (dip). Standard EN 50160 defines a voltage sag as: A sudden reduction of the supply voltage to a value between 1%...90% of the nominal voltage followed by a voltage recovery after a short period of time. Typically the duration of the voltage sag is between 10ms and 1 minute.

FAULT IN A NEIGHBOURING MEDIUM VOLTAGE NETWORK

VIKA NAAPURIMUUNTAJAN TAKANA



$$\underline{U}_{\text{sag}} = \frac{\underline{Z}_T + \underline{Z}_L + \underline{Z}_F}{\underline{Z}_S + \underline{Z}_T + \underline{Z}_L + \underline{Z}_F} \cdot \underline{U}$$

Kun vika tapahtuu naapurimuuntajan takana, yhteinen piste PCC = point of common coupling onkin asiakasta syöttävän muuntajan yläjännitepuolella. Näin ollen vakavtkaan viat naapurimuuntajan takana eivät pysty vakavasti pudottamaan jännitettä PCC:ssä.

When a fault occurs behind the neighbouring main transformer, the PCC = point of common coupling is on the high voltage side of the main transformer. Thus, not even the most serious faults occurring in the neighbouring medium voltage distribution system are able to cause serious voltage sags.