

VI. Elektrik Tesisat Kongresi ve Sergisi - 16-19 Ekim 2019 - İzmir

AŞIRI GERİLİM VE AKIMLARDAN KORUNMA VE YALITIM KOORDİNASYONU

Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ

İstanbul Teknik Üniversitesi

Elektrik Elektronik Fakültesi – Elektrik Mühendisliği Bölümü



Elektrik - Yalıtım - İletim

- Işık
- Ses
- Isı
- Su
- Elektrik
- Akım
- Gerilim
- Yalıtım
- İletim

- İletim
- 
- İletkenlik
 - İletken

- Yalıtım
- Yalıtkanlık
- Yalıtkan



$$\text{Akım} = \frac{\text{Gerilim}}{\text{Direnç}}$$

Yalıtım Koordinasyonu

Aşırı Gerilim

Dalga biçimi
Genliği
Frekansı
Periyodu
Süresi
Kutbu
Konumu
Yönü, ...

Yalıtım
Koordinasyonu

Yalıtım

Aşırı Gerilimden
Korunacak Nesnelere,
Devreler, Canlılar

İnsanlar, hayvanlar, bitkiler, binalar,
konutlar, fabrikalar, okullar, kuleler,
köprüler, tarihi eserler, yapılar, ...

**Aşırı Gerilimden
Koruma**

Malzeme türü, boyutu, biçimi, konumu, koşulları, ...
Koruma Yöntemleri ve araçları,
Seçimi, kurulumu, denetimi, bakımı
Topraklama, eşpotansiyelleme

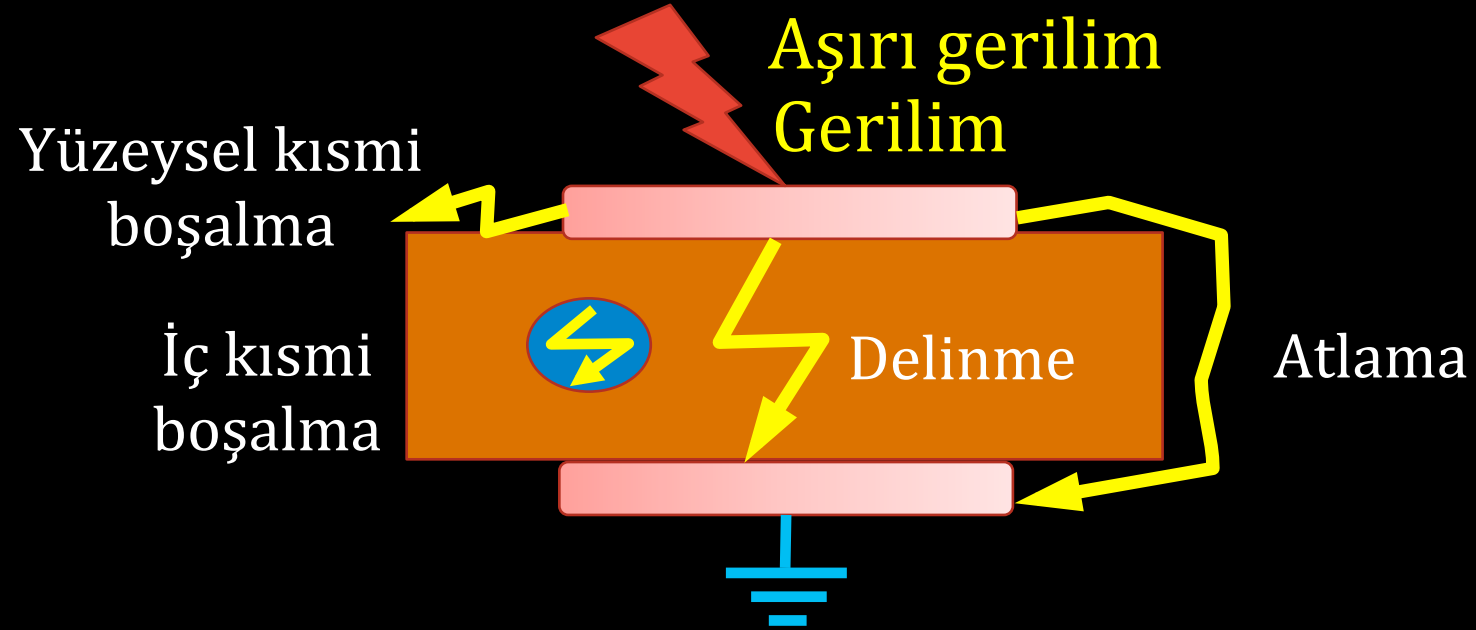
İletim Koordinasyonu



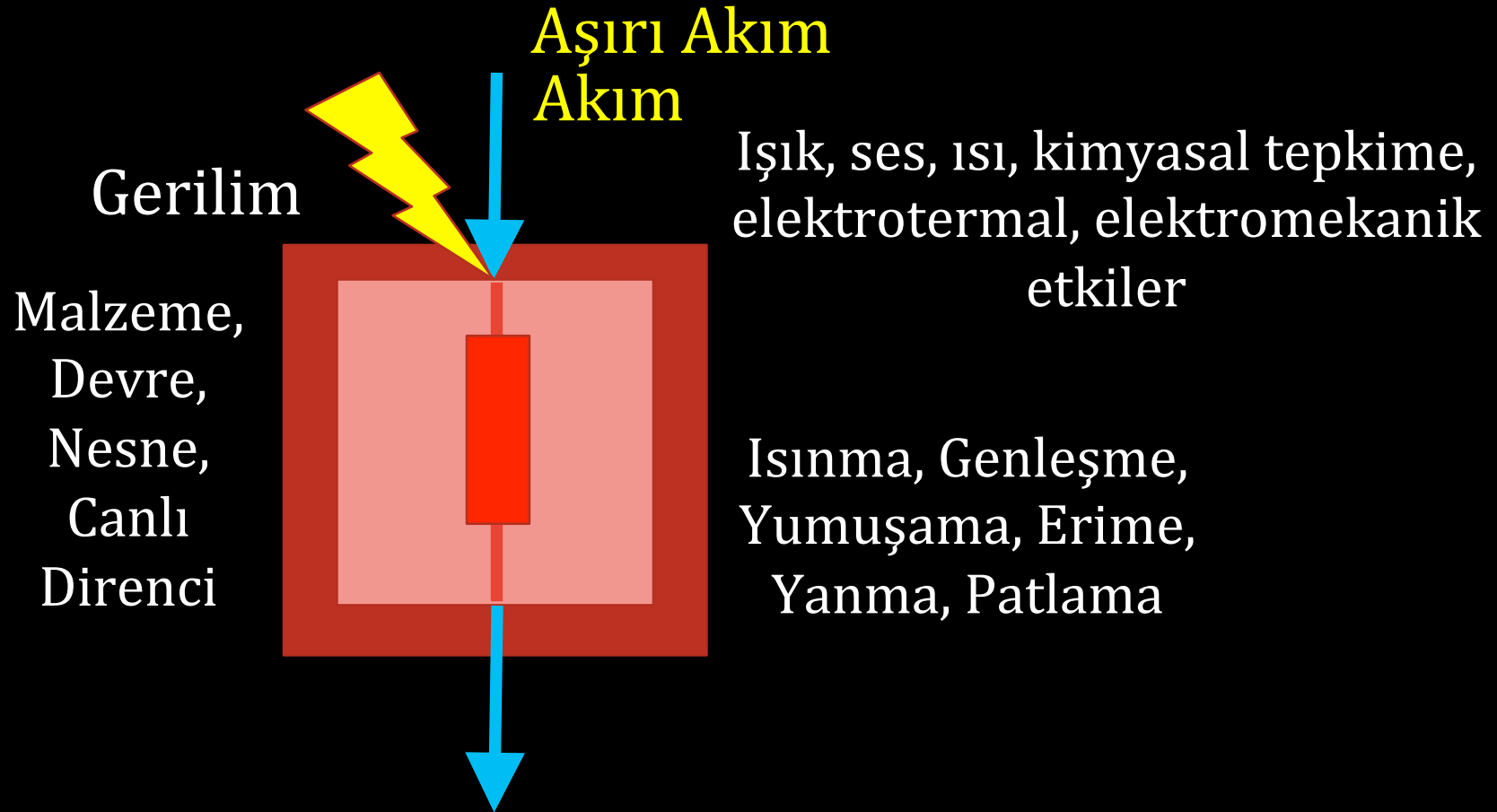
Aşırı Gerilimden Korunma

- Aşırı gerilim kaynakları
- İç aşırı gerilimler
- Anahtarlama darbe gerilimi (SIV: Switching Impulse Voltage)
- Dış aşırı gerilimler
- Yıldırım darbe gerilimi (LIV: Lightning Impulse Voltage)
- Korunacak nesnelere
- Koruma yöntemleri ve araçları
- Yalıtım koordinasyonu (eşgüdümü)

Elektriksel Boşalma Türleri

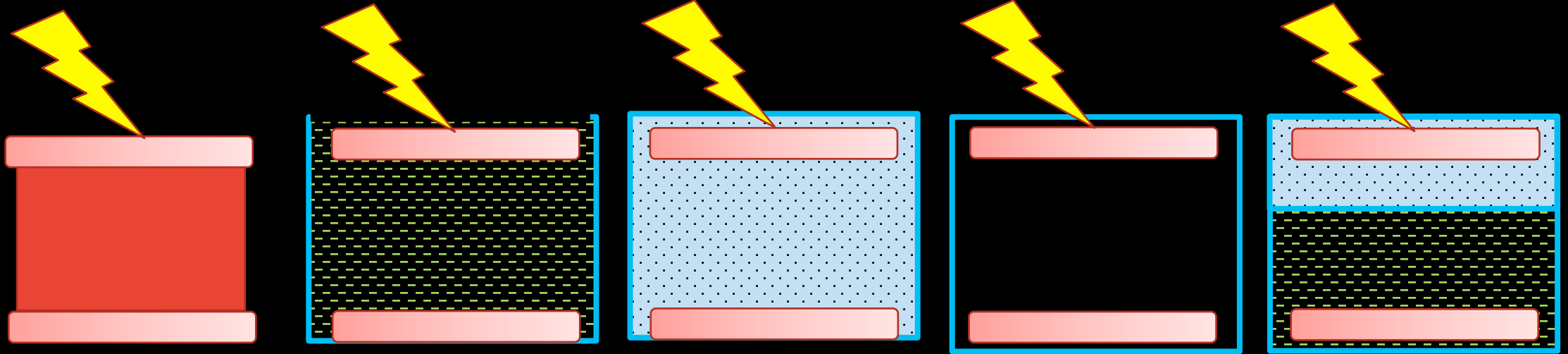


Aşırı Akımdan Korunma



Yalıtım

- Yalıtım (ses, ışık, su, elektrik alan, gerilim, ...)
- Yalıtkan: Yalıtım malzemesi



Katı

Sıvı

Gaz

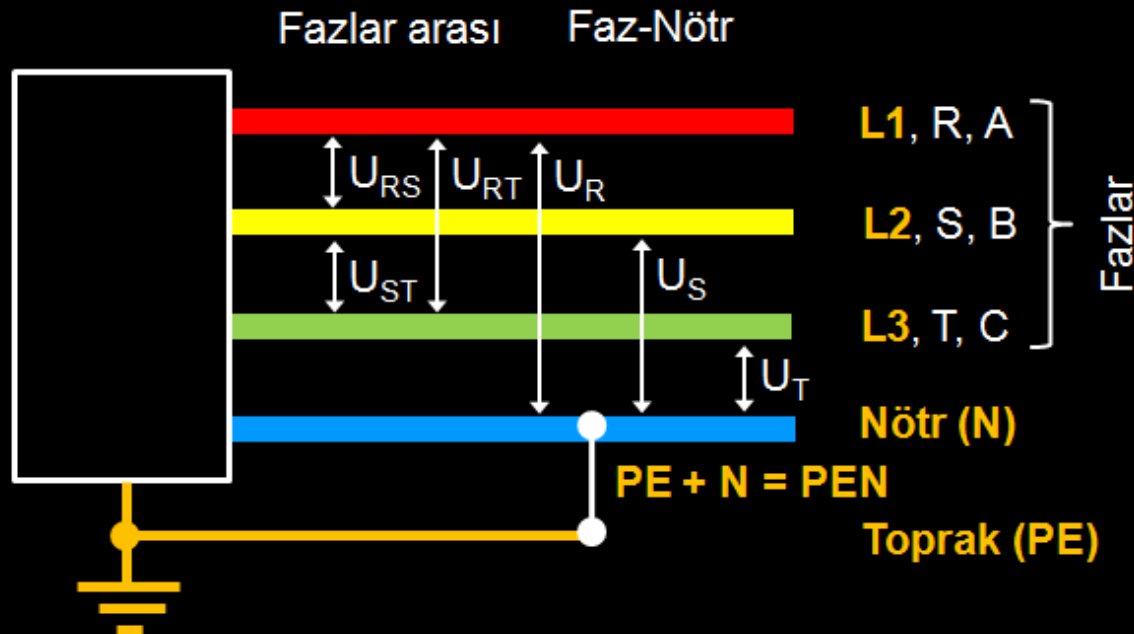
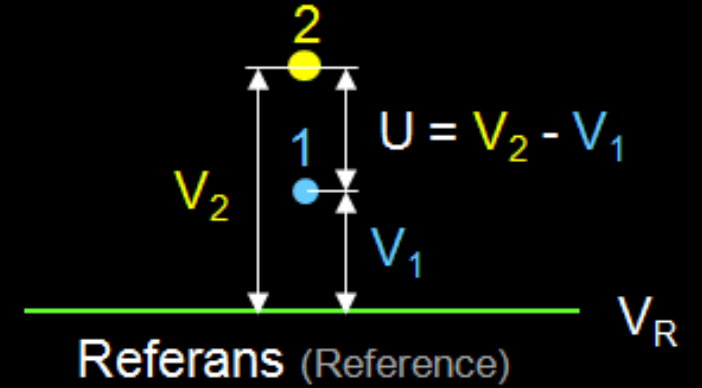
Vakum

Karma

(seri, paralel, eğik, karışık)

Gerilim

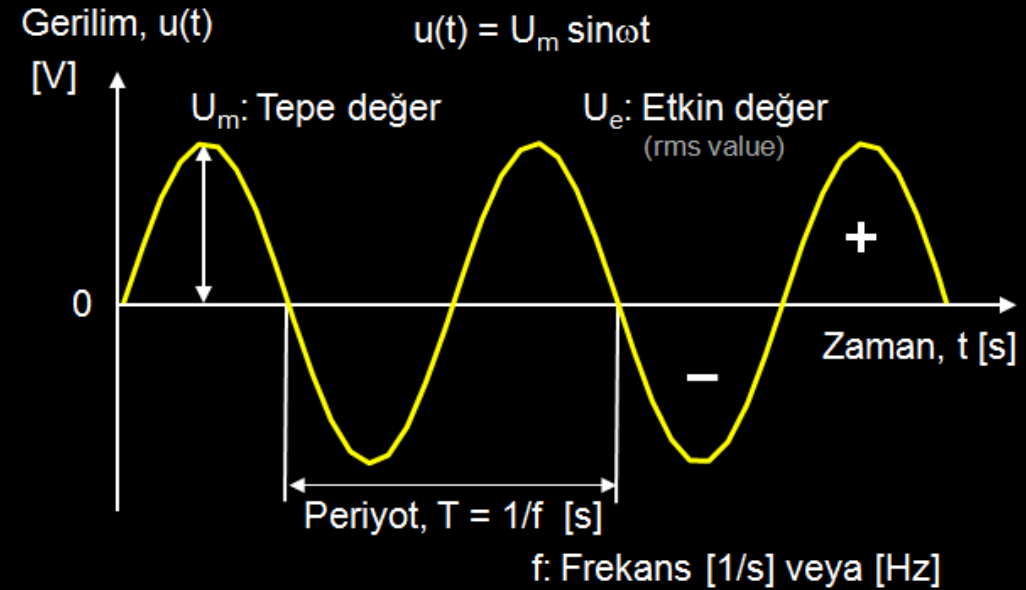
- **Gerilim:** Potansiyel farkı
- **Potansiyel:** Bir referansa göre elektriksel konum
- **Referans:** Toprak, nötr, diğer faz, gövde, şase, ...



- Referansa göre gerilim
- Faz - nötr gerilimi
- Faz - toprak gerilimi
- Faz - faz (Fazlar arası) gerilim
- Anma gerilimi (nominal gerilim)

Gerilim

- İşletme gerilimi
- İzin verilen en yüksek işletme gerilimi
- Yüksek gerilim
- Aşırı gerilim
- Aşırı akım
- Gerilim türleri (t: zaman; T: periyot; f: frekans)
- **Alternatif gerilim** (0,1 Hz, 50 Hz, 10 kHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz)
- **Doğru gerilim** (+, -) (sabit, dalgalı)
- **Darbe gerilimi** (yıldırım, anahtarlama) (+, -) (tam, kesik)



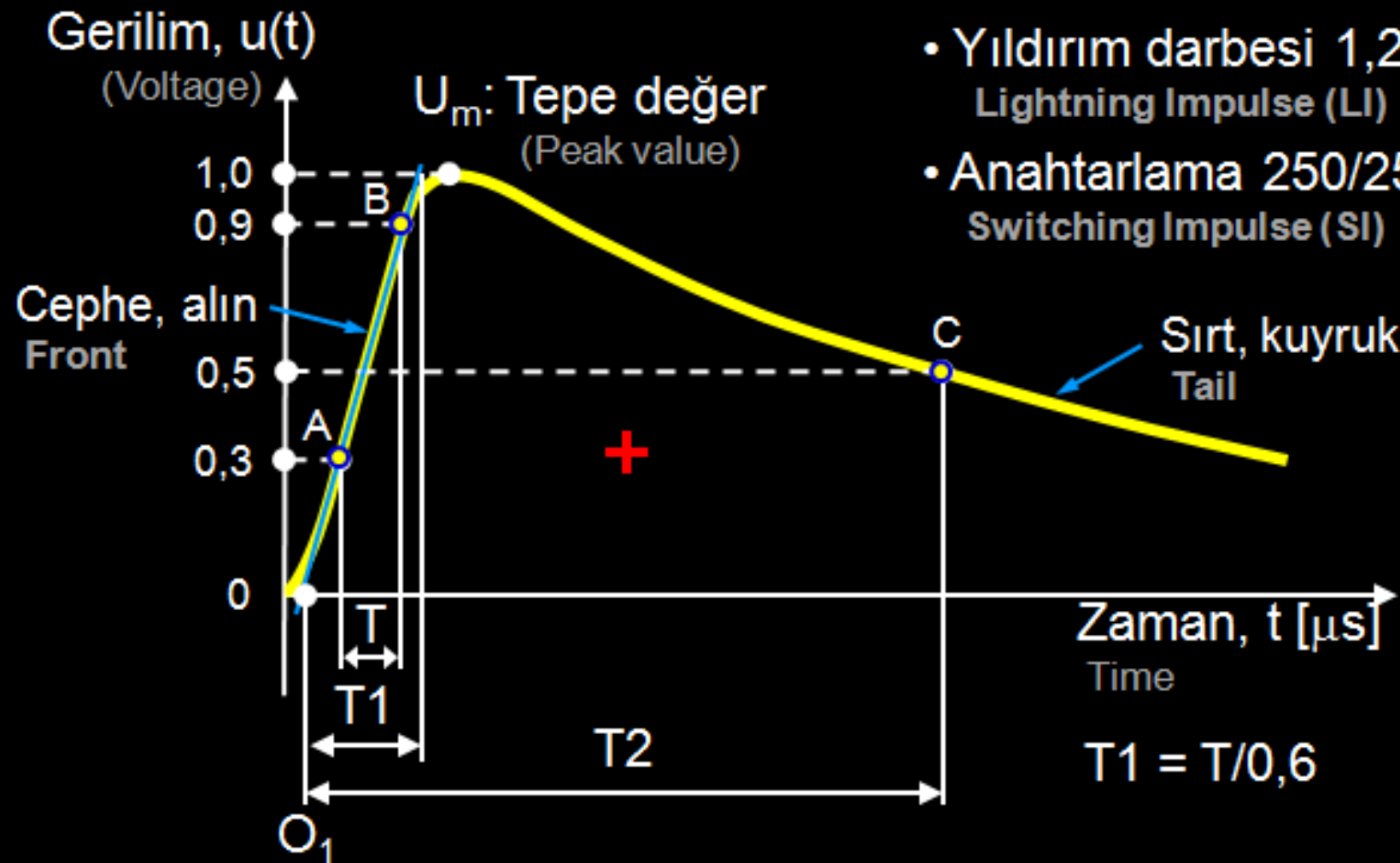
Aşırı Gerilimden ve Akımdan Korunma

Aşırı gerilim ve akımlardan elektrikli ve elektronik aygıtlar kolaylıkla etkilenip hasar görebilirler.

Aşırı gerilimlerin kaynakları

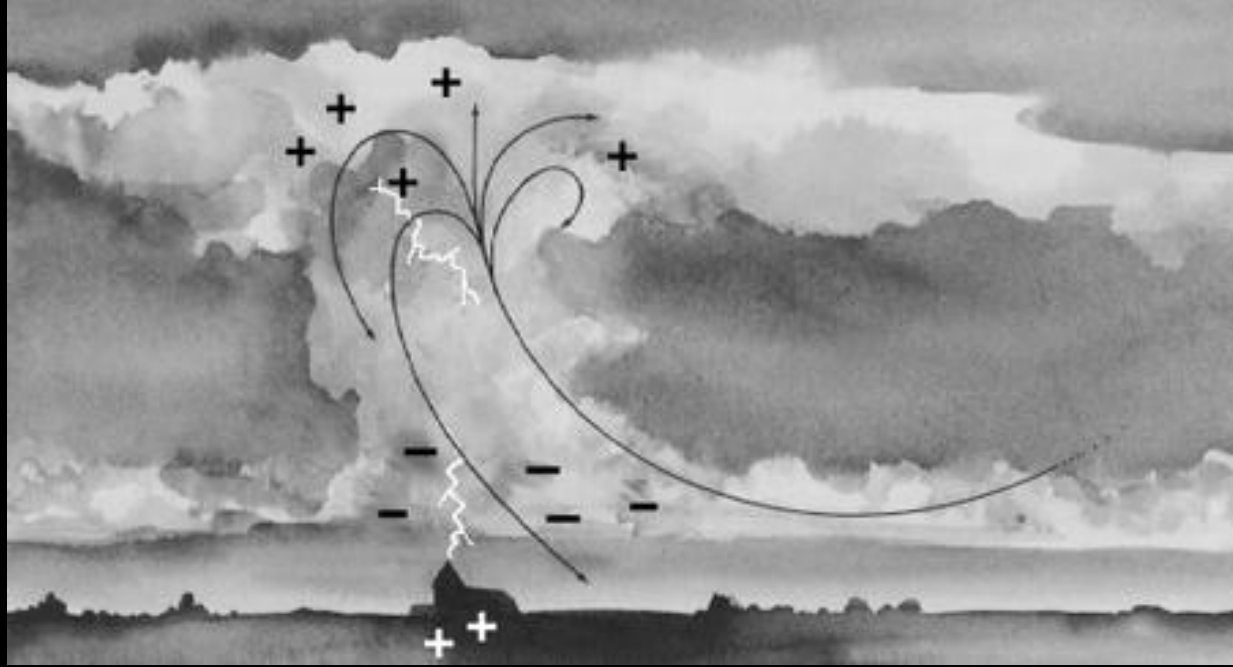
Kaynakları bakımından aşırı gerilimler iki sınıfa ayrılır:

- **LEMP** (Lightning ElectroMagnetic Pulse) – Yıldırım kaynaklı aşırı gerilimlerdir.
- **SEMP** (Switching ElectroMagnetic Pulse) – Anahtarlama kaynaklı aşırı gerilimlerdir.



- Yıldırım darbesi 1,2/50
Lightning Impulse (LI)
- Anahtarlama 250/2500
Switching Impulse (SI)

Yıldırım



Yıldırım Bulutu Kümülü-nimbus

Çap: yaklaşık 10 km

Yükseklik: yaklaşık 14-15 km

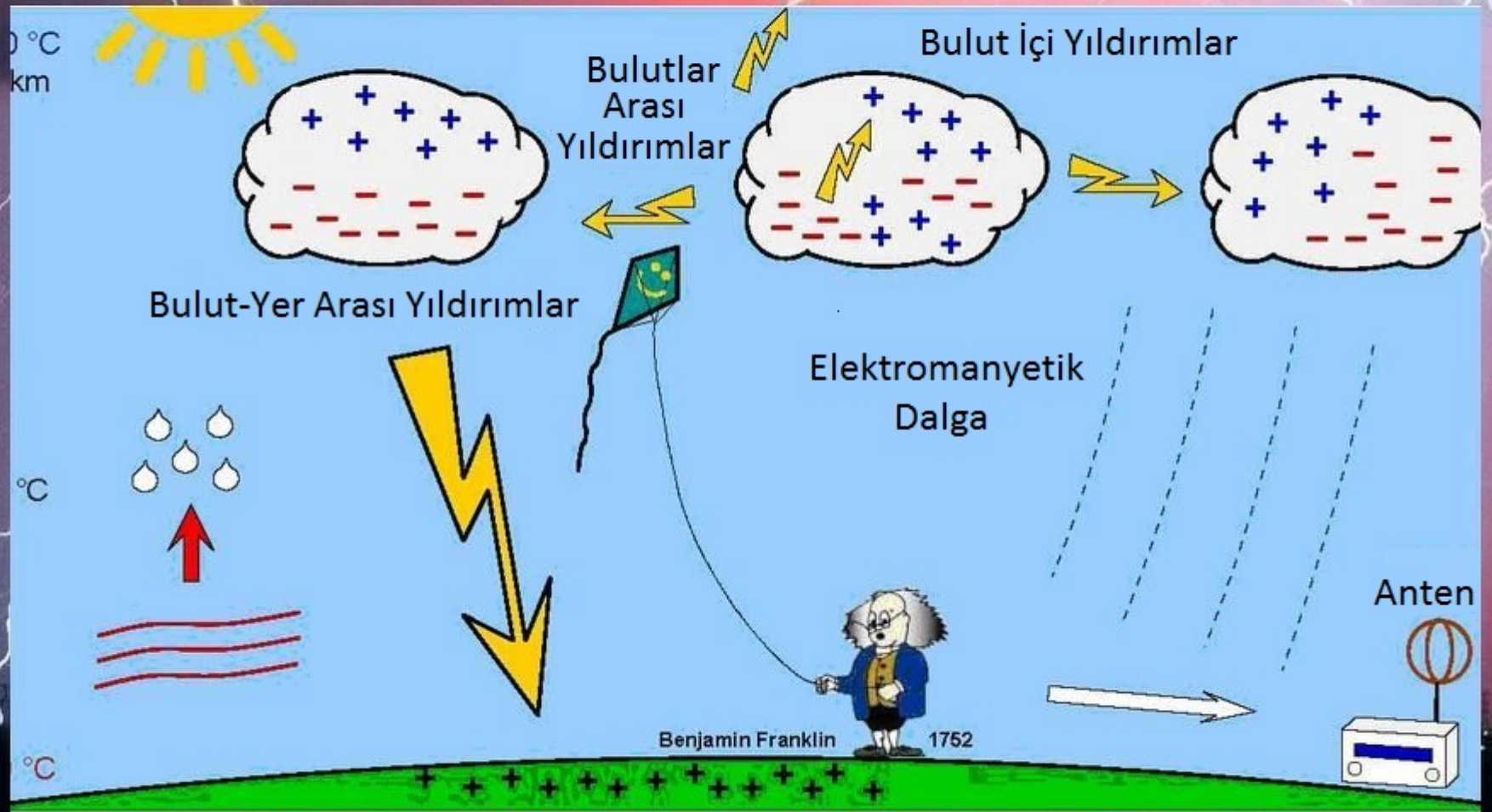
Hız: 5-10 km/h

Yeryüzündeki ortalama elektrik alanı:

İyi havada: $100 \text{ V/m} = 0,1 \text{ kV/m}$

Fırtınalı (yıldırım) havada: $15-20 \text{ kV/m}$

Diagram of lightning

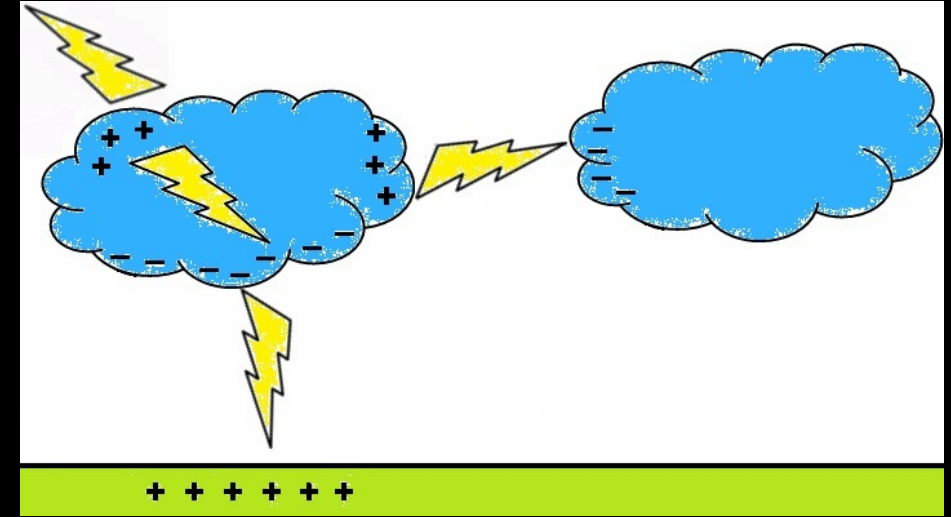


Yıldırım Türleri

1. Bulutiçi (IC: Intra-Cloud)
 2. Bulutlararası (IC: Inter-Cloud) (C2C)
 3. Buluttan havaya (IC)
 4. Bulut-yer (CG: Cloud to Ground)
- } %80

Bulut-yer yıldırımları, elektriksel boşalmanın gelişme yönüne (yukarı veya aşağı) ve gelişen yüklerin kutbiyetine (pozitif veya negatif olmasına) göre dört türdür.

- 4.1. Negatif buluttan yere (% 70-90); (C2G)
 - 4.2. Pozitif buluttan yere (% 10-30) (C2G)
 - 4.3. Negatif yerden buluta (G2C)
 - 4.4. Pozitif yerden buluta (G2C)
- } %20



Yıldırımın Özellikleri

Yıldırım, yüksek akımlı, yüksek gerilimli, en büyük açıklıkta gerçekleşen güçlü bir elektriksel boşalma olayıdır.

Yüksek akımlı (2 kA – 400 kA)

Yüksek gerilimli (100 MV – 1000 MV)

Çok güçlü (200 GW, 400 TW)

Hızlı (m/mikro saniye – m/mili saniye)

Gürültülü (> 120 dB)

Çok parlak (> 2000 lux)

Çok sıcak (~30000 °C) ...

Yıldırımın Etkileri

Yıldırımın Doğrudan + Dolaylı etkileri

1. Termik (ısı) etki

(Joule kaybı nedeniyle ortaya çıkan ısı), (yangın, erime)

2. Termodinamik veya elektrodinamik etki

(şekil değiştirme, deformasyon)

3. Elektromanyetik etki (endüksiyon etkisi)

4. Akustik etki (gök gürültüsü) (yaklaşık 10 km'ye kadar)

5. Görsel etki (ışık etkisi) (şimşek)

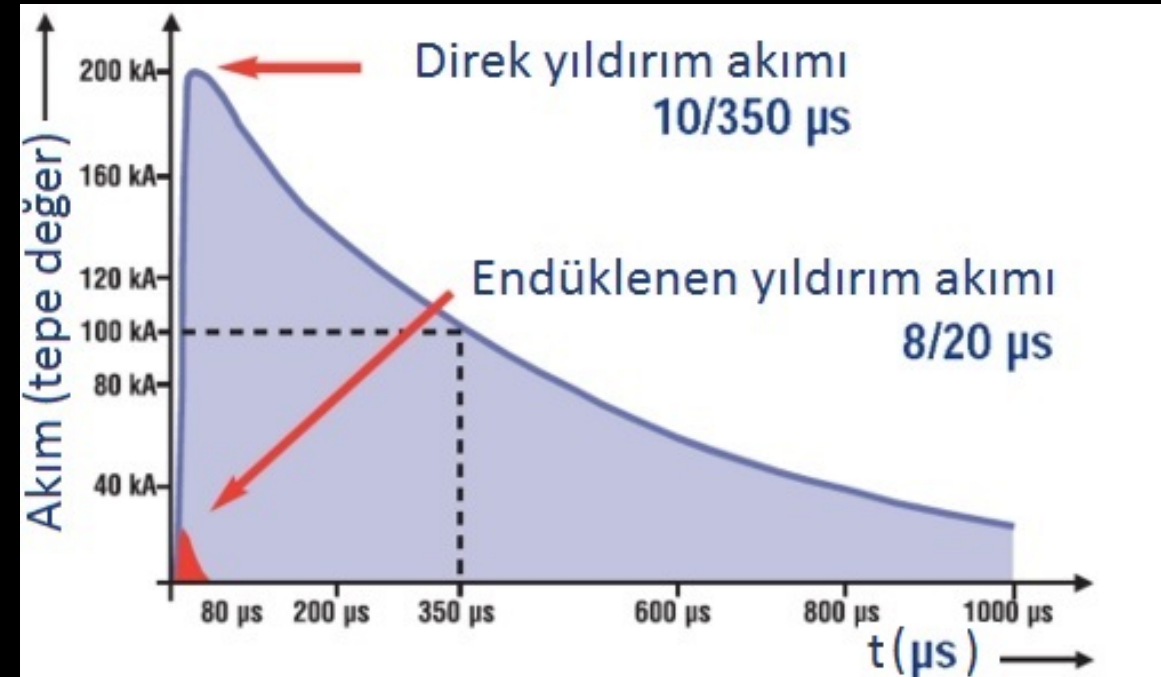
6. Elektrokimyasal etki (Ozon, NO)

7. Canlılara (insan ve hayvanlara) etkisi

tehlikeli yanıklar, kas kasılmaları, kalp ve solunum sorunu, adım gerilimi

Yıldırımdan Korunma

- **Atmosfer kaynaklı aşırı gerilimler**, yıldırımın doğrudan çarpmasından, yakına düşmesinden ve elektromanyetik alanından kaynaklı gerilimlerdir.
- Darbe akımının **karakteristik büyüklükleri** (tepe değer, yükselme hızı, yükü, özenerjisi) 10/350'lik darbe akımının dalga şekli üzerinde açıklanabilir.
- Bunlar uluslararası (IEC, EN, ...) ve ulusal (TS, BS, ...) **standartlar**da doğrudan yıldırım çarpması durumunda koruma için bileşenler ve aygıtlar için deney akımları olarak tanımlanmıştır.

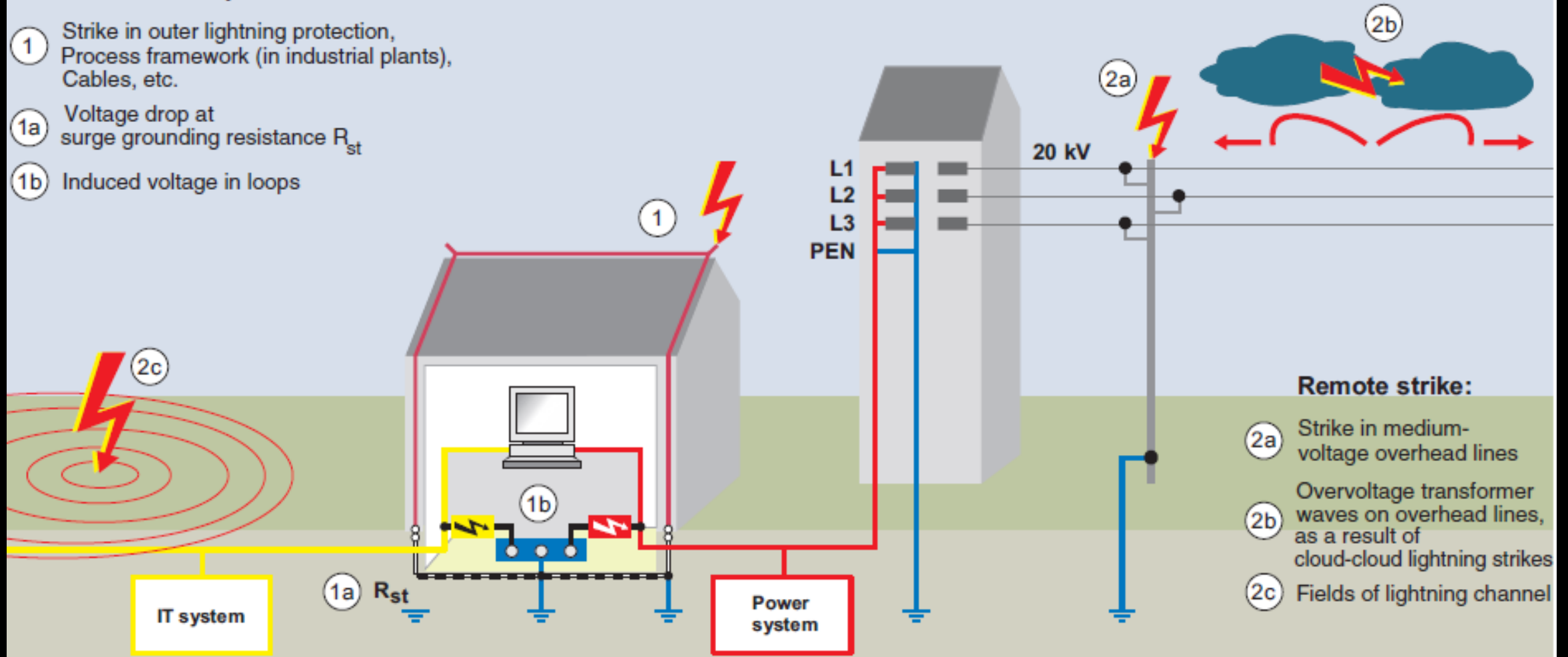


Yıldırımın Gelişi

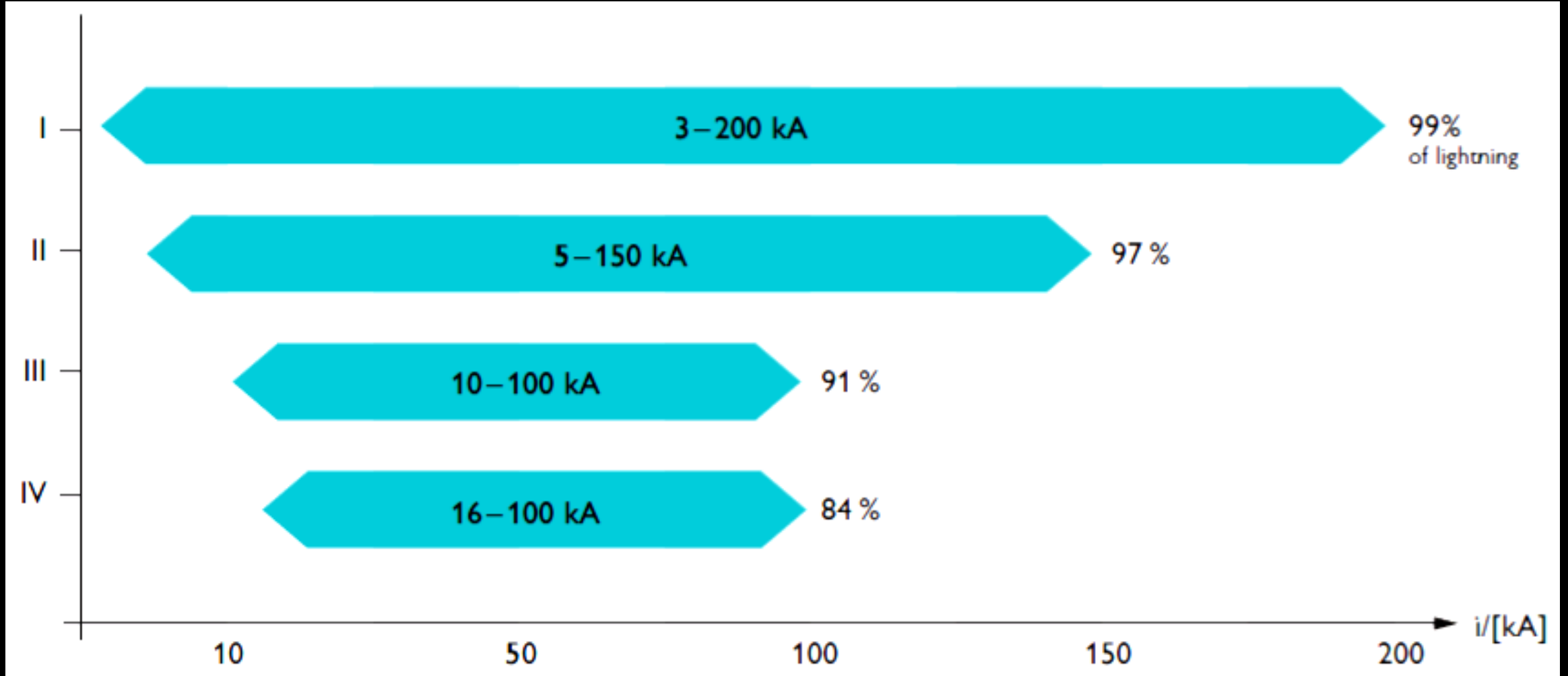
I2_10783

Direct/close-up strike

- ① Strike in outer lightning protection, Process framework (in industrial plants), Cables, etc.
- ①a Voltage drop at surge grounding resistance R_{st}
- ①b Induced voltage in loops



Yıldırımdan Koruma Düzeyleri (LPL)



Yıldırımdan Koruma Bölgeleri (LPZ)



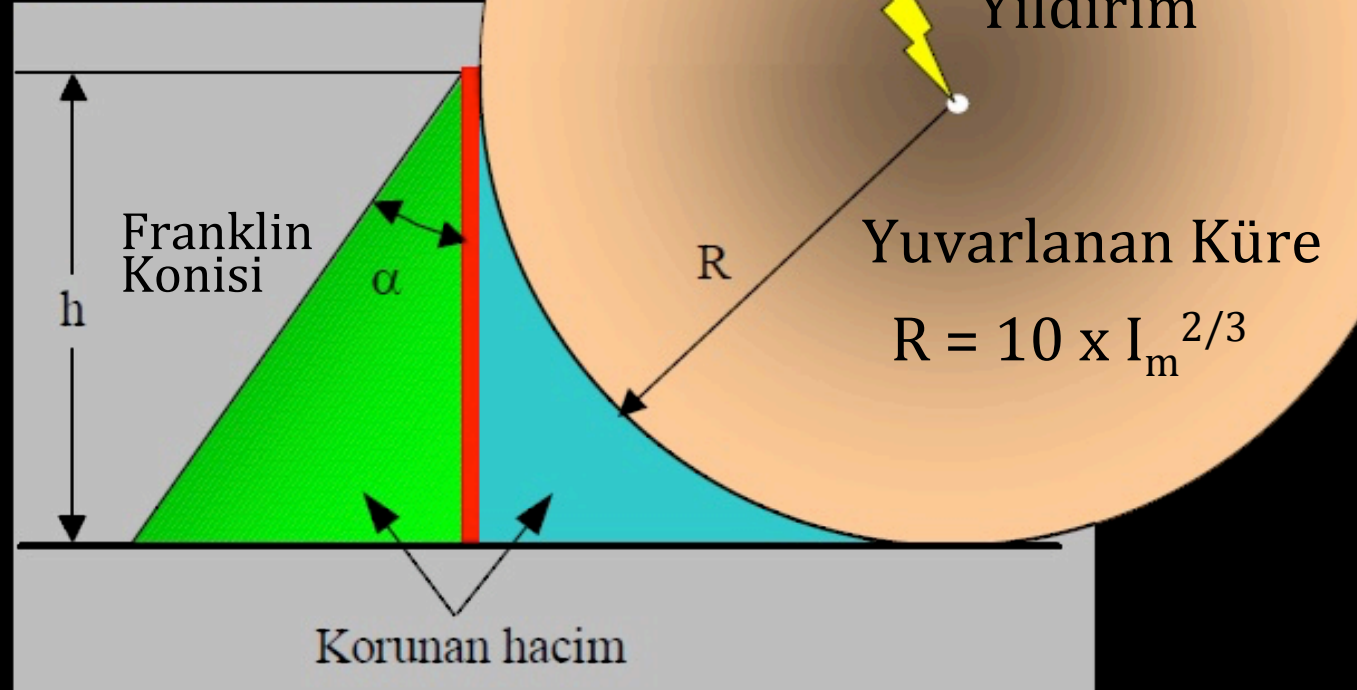
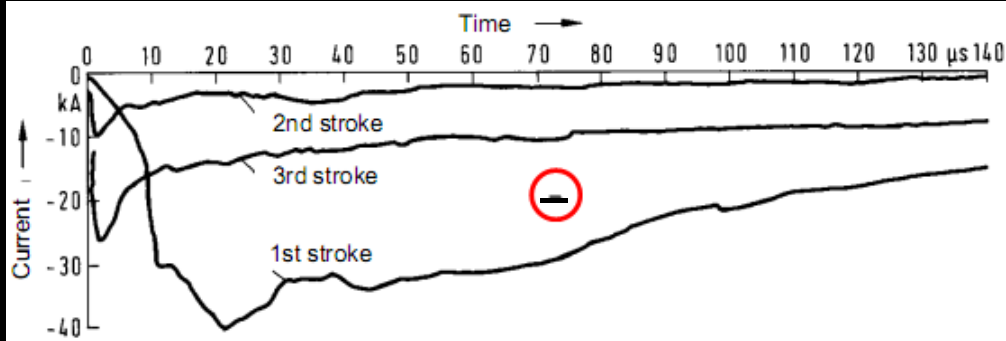
Yıldırımdan Korunma

Lightning protection zone	Description
0 _A	Zone where objects are exposed to direct lightning strikes and must therefore carry the whole lightning current. The undamped electromagnetic field occurs in this case.
0 _B	Zone where objects are not exposed to direct lightning strikes but where the undamped electromagnetic field still occurs.
1	Zone where objects are not exposed to direct lightning strikes and in which the currents are reduced compared to Zone 0 _A . In this zone, the electromagnetic field may be damped, depending on the insulation measures implemented.
2, 3	If a significant reduction in the conducted currents and/ or the electromagnetic field is required, subsequent zones must be set up. The demand on these zones must be geared towards the required environment zones of the system to be protected.

Binadışı Yıldırımdan Korunma

Koruma Seviyesi	h (m)	20	30	45	60	Kafes genişliği (m)
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	15
IV	60	55	45	35	25	20

* Bu durumlarda sadece yuvarlanan küre yöntemi kullanılır.

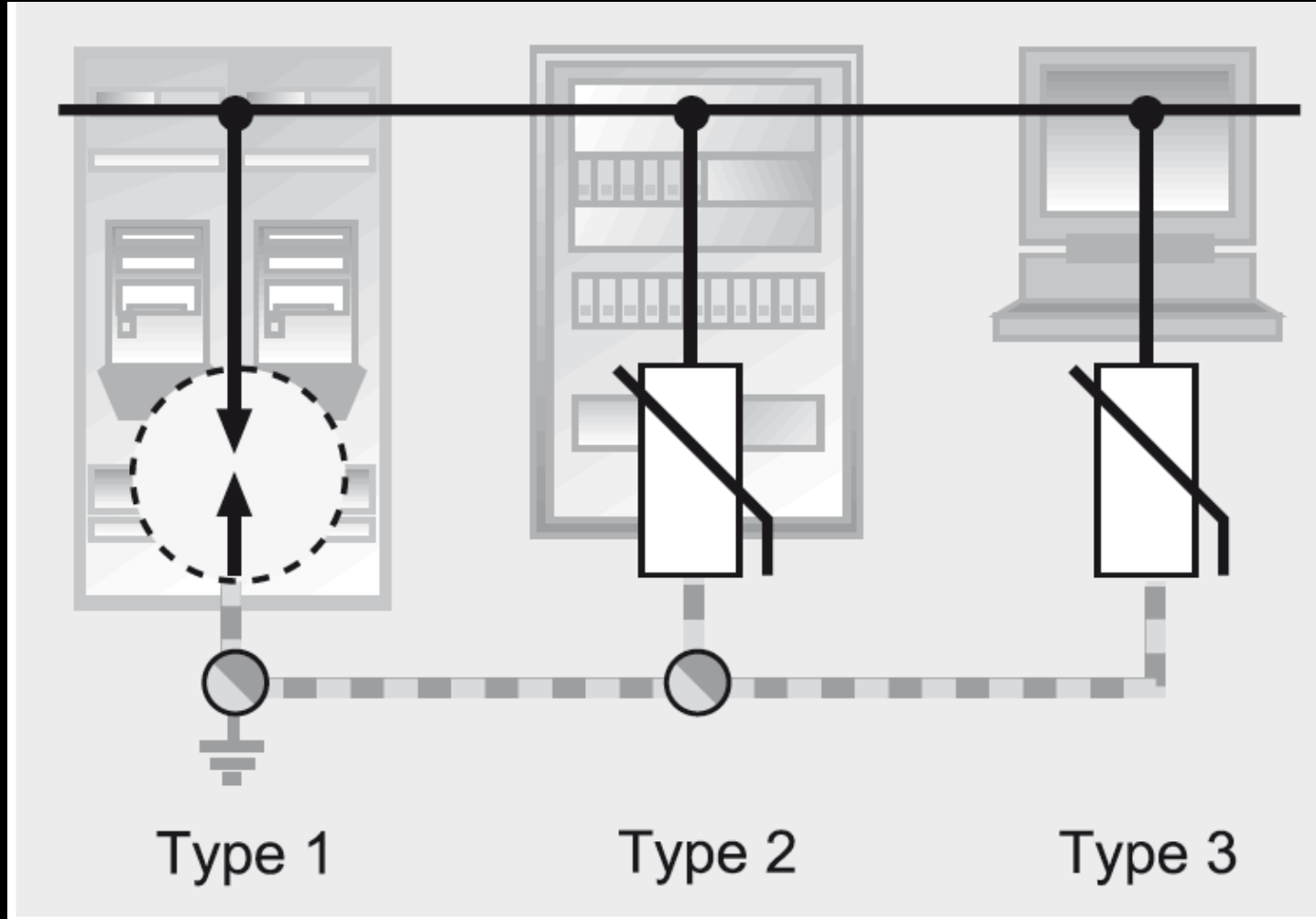


Binaiçi Yıldırımından Koruma

Darbe Dayanma Gerilimi Sınıfı	Darbe Dayanma Gerilimi	Açıklama
IV	6 kV	Dağıtım panosunun üst tarafında olan aygıtlar için
III	4 kV	Sabit sistemin parçası olan cihazlar için (örneğin dağıtım panoları)
II	2,5 kV	Normal darbe dayanma gerilimi cihazları için (örneğin ev aletleri)
I	1,5 kV	Çok duyarlı cihazlar için (örneğin elektronik cihazlar)

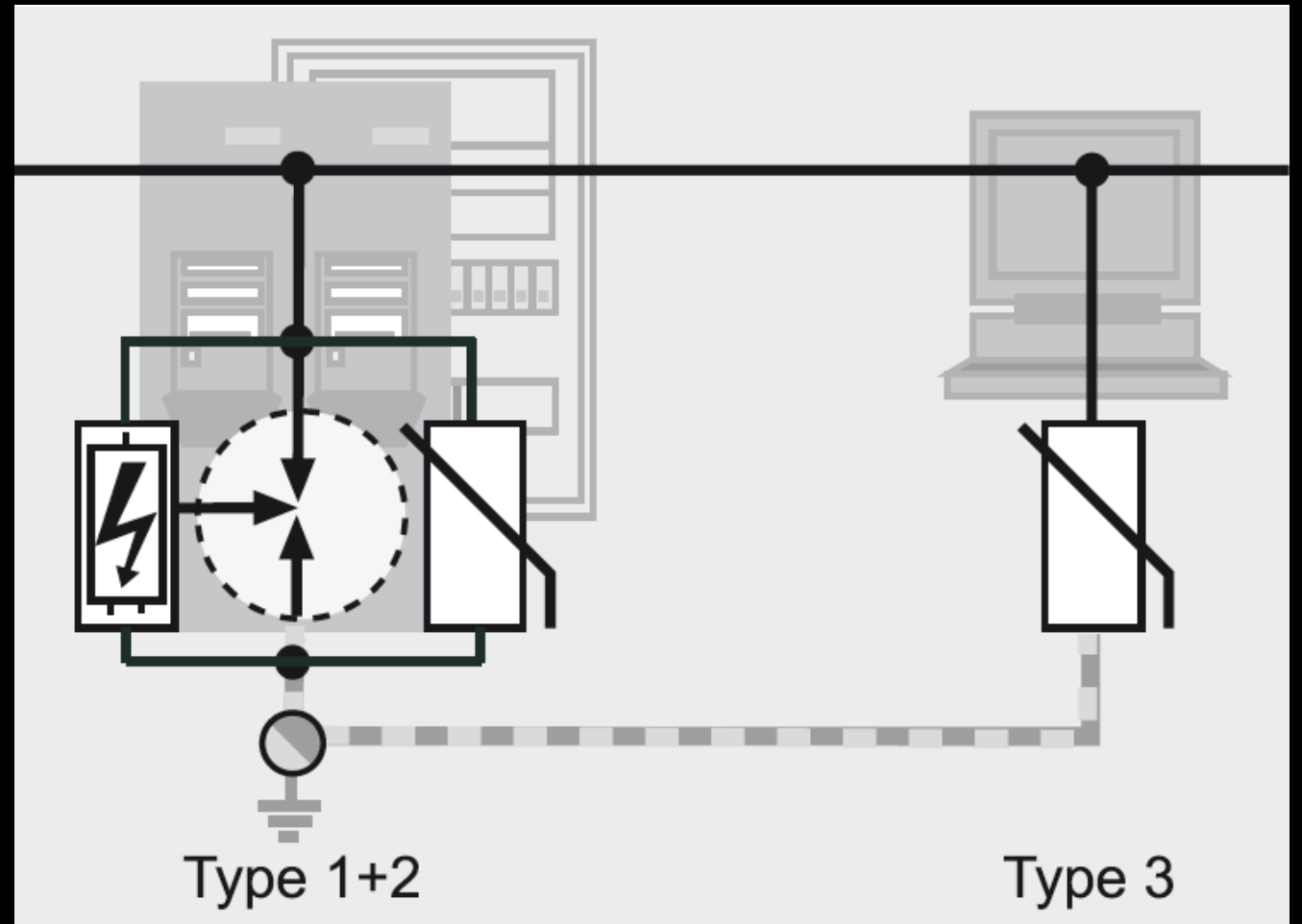
Alman Taslak Standardı VDE 0675-6	Uluslararası Standart IEC 61643-1	Avrupa Standardı EN 61643-11	Açıklama
Class B	Class I	Type 1	Parafudr (Lightning arrester)
Class C	Class II	Type 2	Dağıtım için SPD (Surge Protective Device)
Class D	Class III	Type 3	Uç cihazı için SPD (Surge Protective Device)

SPD Koordinasyonu



SPD Koordinasyonu

Protection stage	Designation	SPD Type	Protection level
1+2	Arrester combination	1+2	≤ 2.5 kV
3	Device protection	3	≤ 1.5 kV



Rated surge withstand capability and overvoltage class
acc. to DIN VDE 0110 Part 1

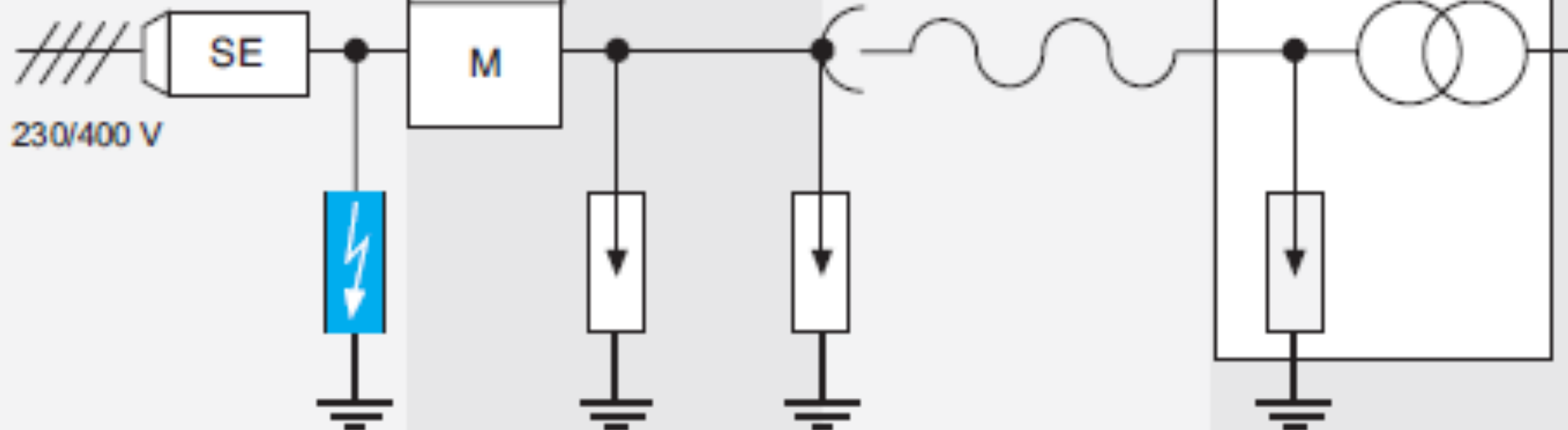
12_08100b

6 kV
IV

4 kV
III

2.5 kV
II

1.5 kV
I



Protection
level

B

<math>< 4 \text{ kV}</math>

C

<math>< 1.5 \text{ kV}</math>

D

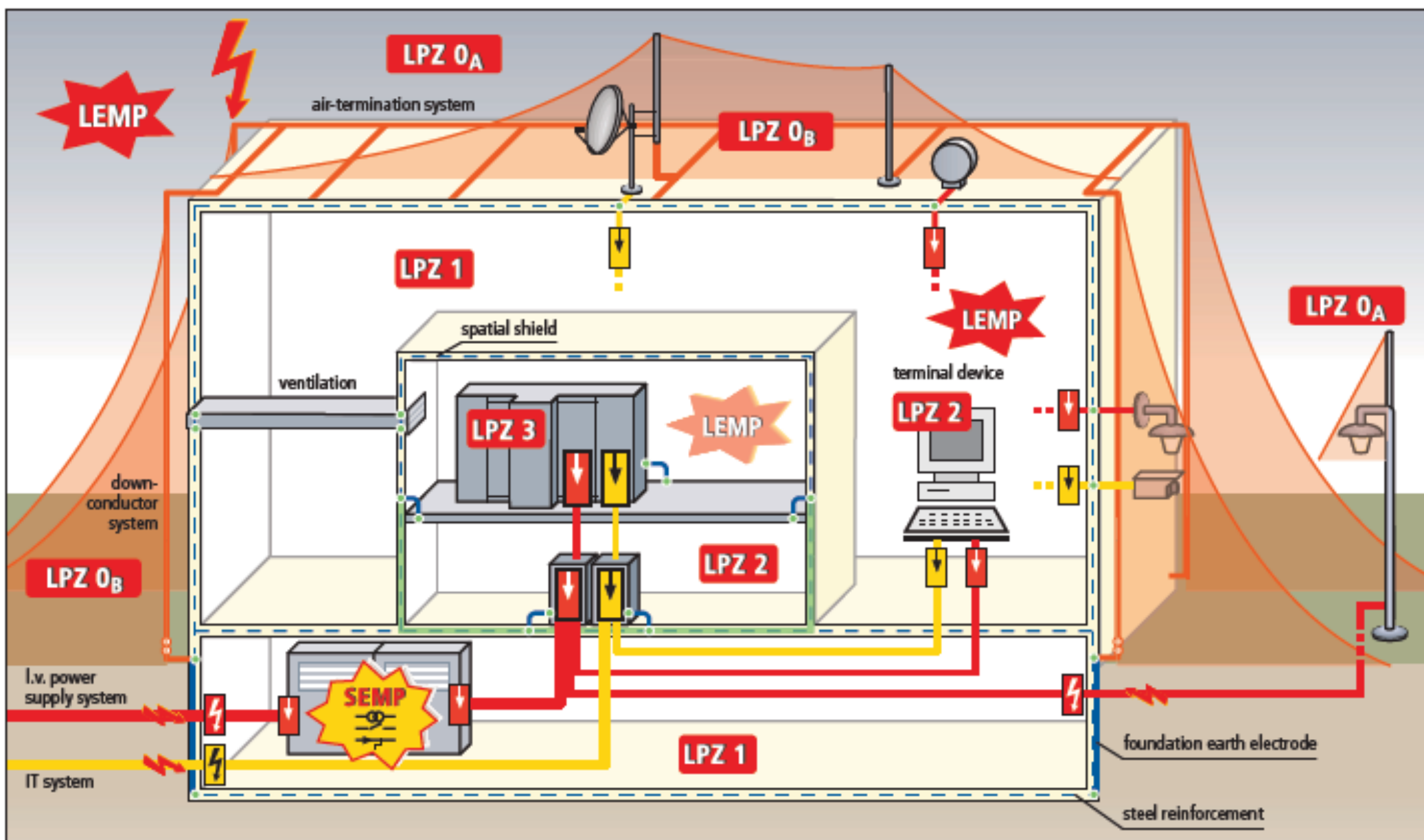
<math>< 1.3 \text{ kV}</math>



none



Requirement category acc. to E DIN 0675 Part 6/A1

Yıldırımdan Koruma Bölgelerine Göre SPD Seçimi

Zone transition	SPD type	Designation
LPZ 0 _A → LPZ 1	Type 1	Lightning current arrester
LPZ 0 _B → LPZ 1	Type 2	Surge protective device
LPZ 1 → LPZ 2	Type 2	Surge protective device
LPZ 2 → LPZ 3	Type 3	Device protection

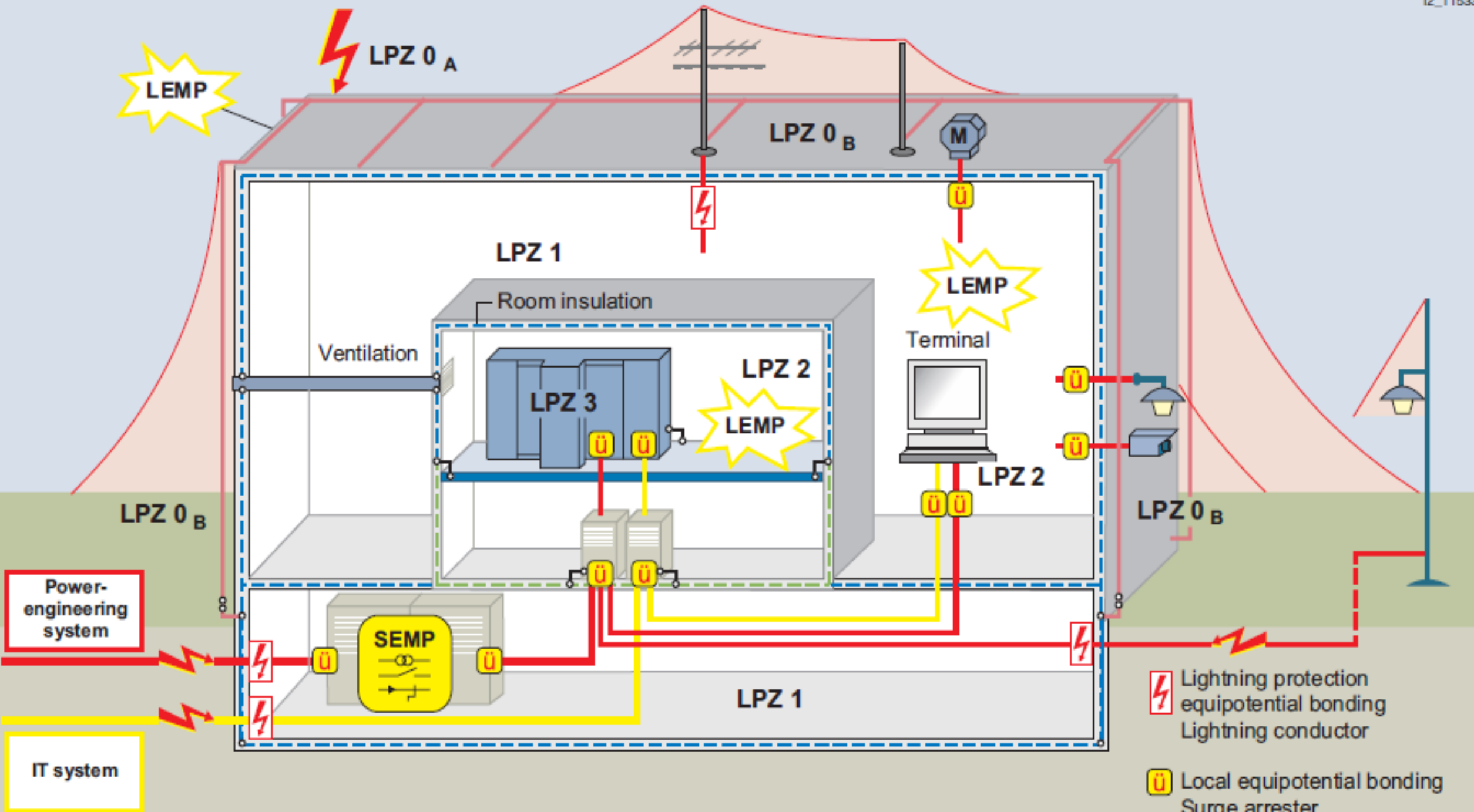


-  Lightning equipotential bonding
Lightning current arrester (SPD Type 1)
-  Local equipotential bonding
Surge arrester (SPD Type 2, SPD Type 3)

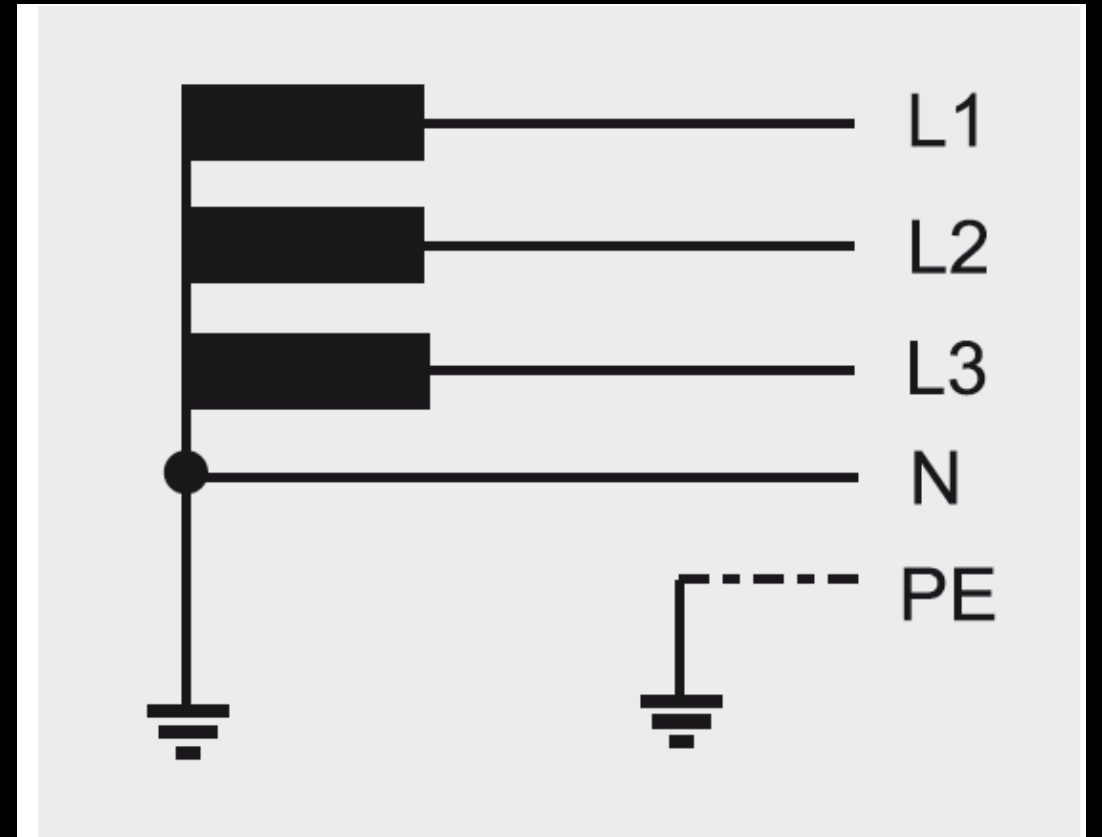
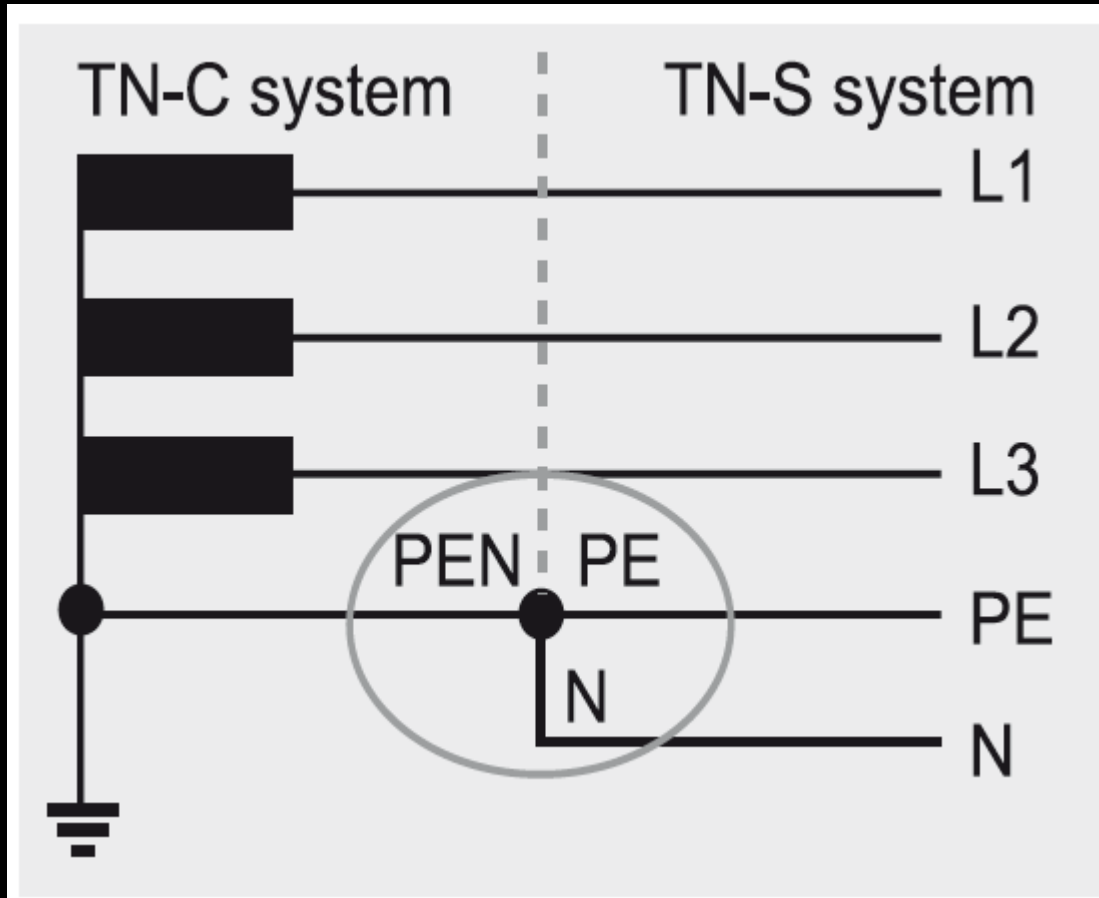
-  Lightning equipotential bonding
Lightning current arrester
-  Local equipotential bonding
Surge arrester

-  LEMP Lightning electro-magnetic pulse
-  SEMP Switching electro-magnetic pulse

-  LPZ Lightning protection zone

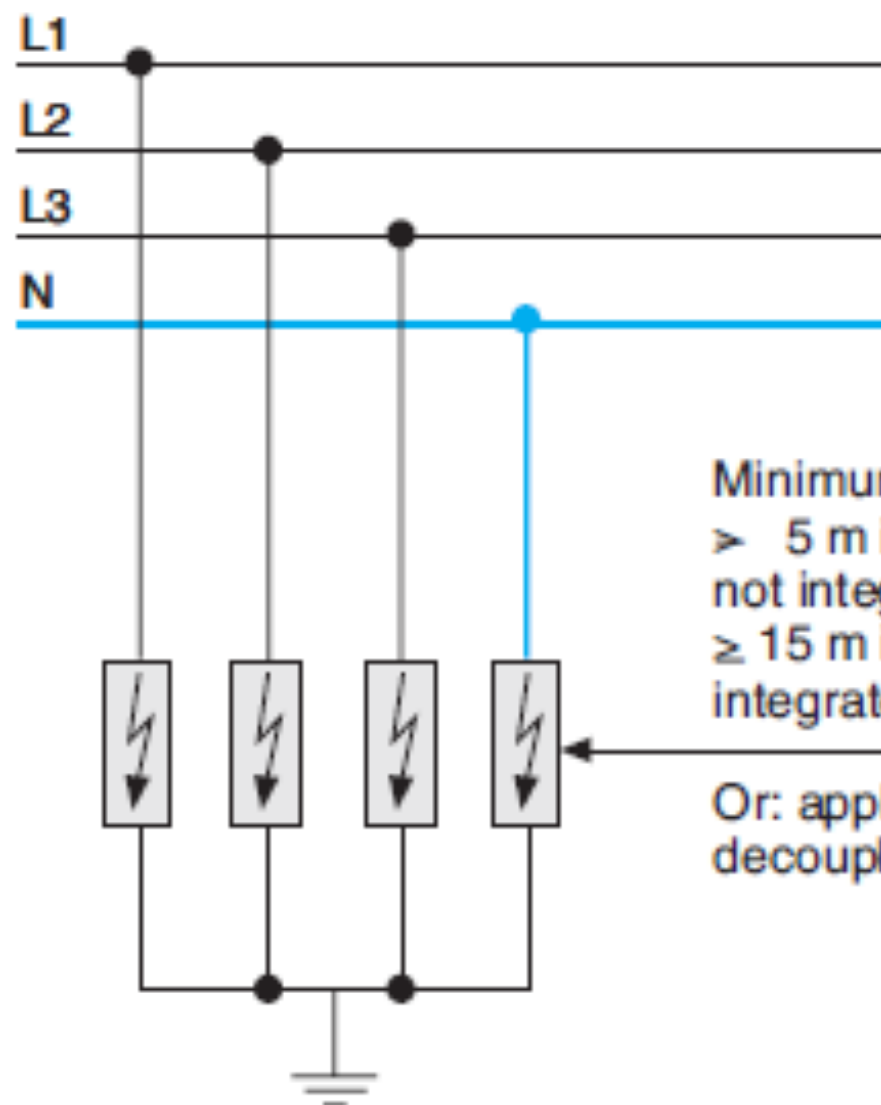


Şebeke Türü

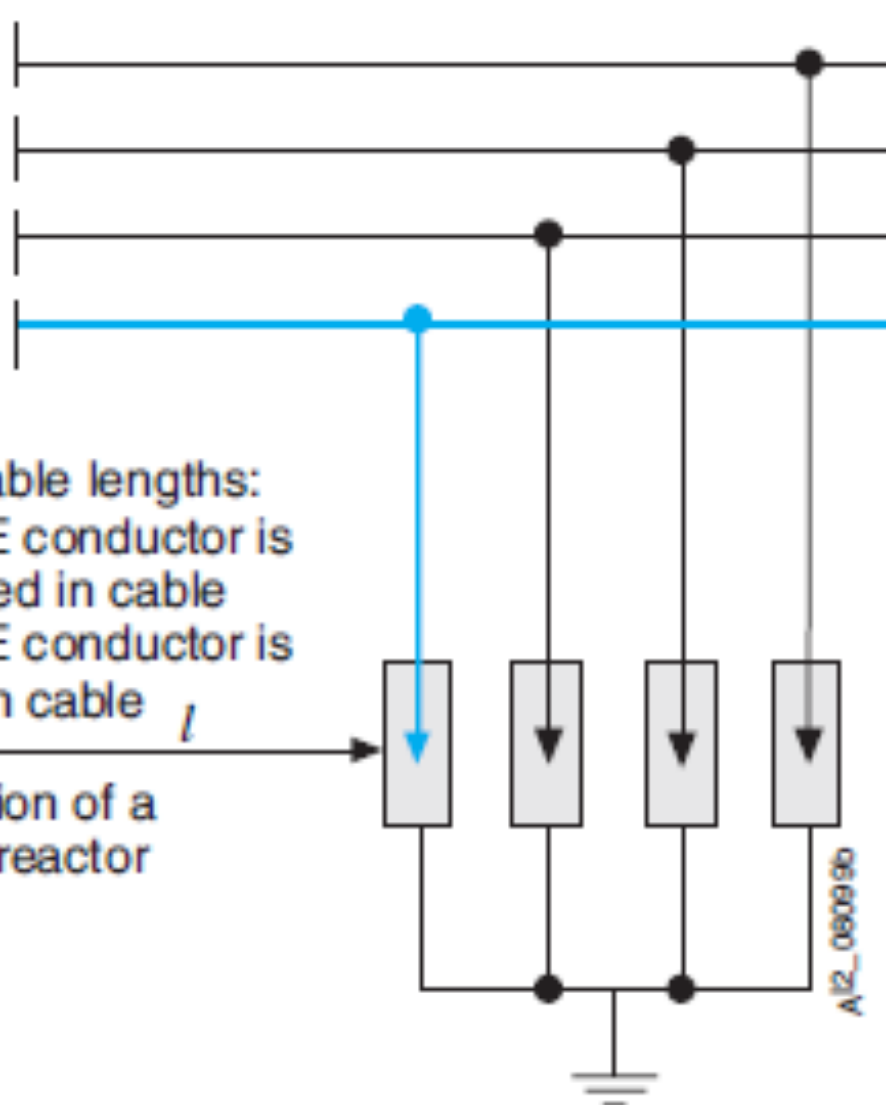


Applications in the TT system

Lightning arrester



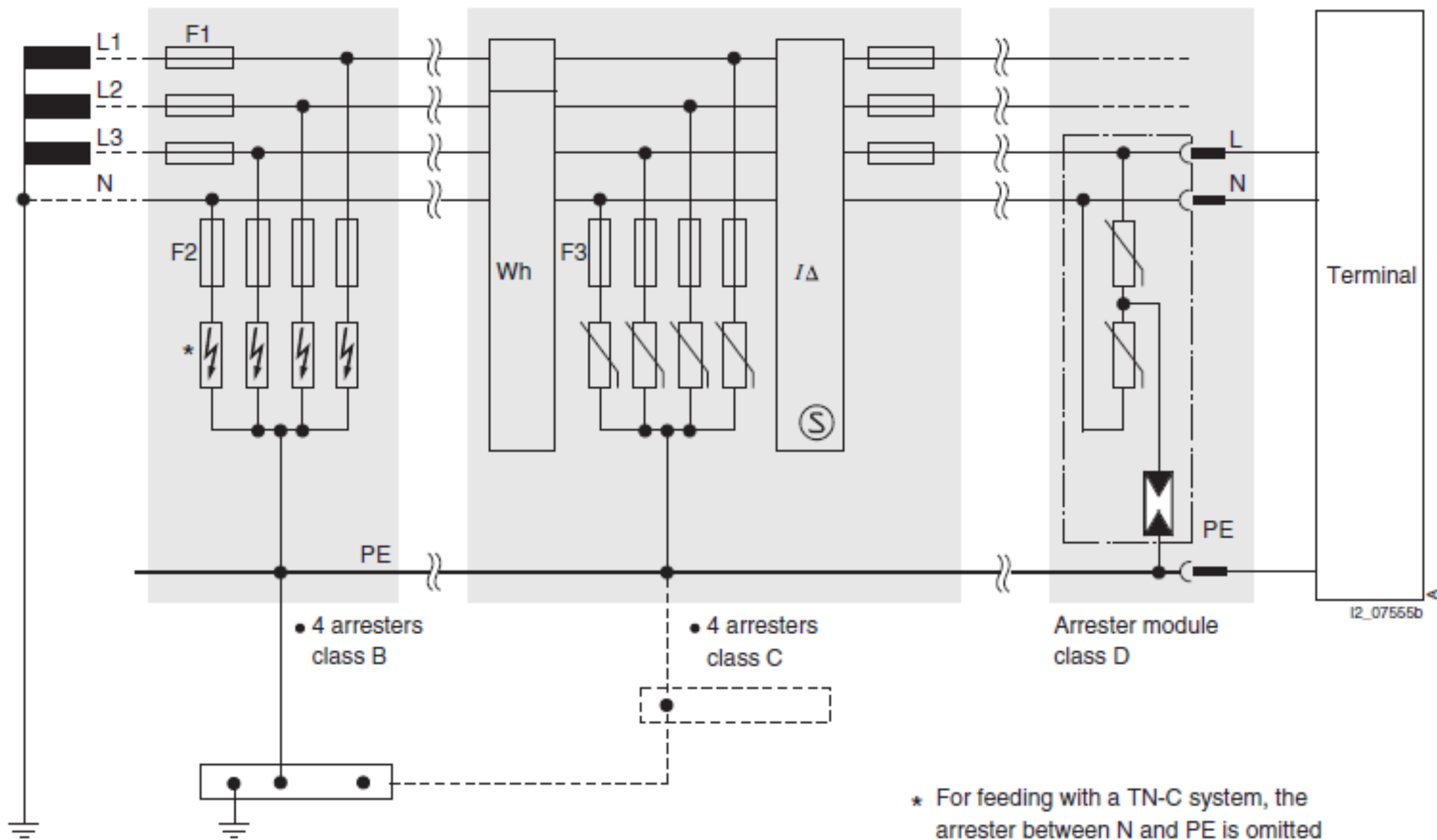
Surge arrester

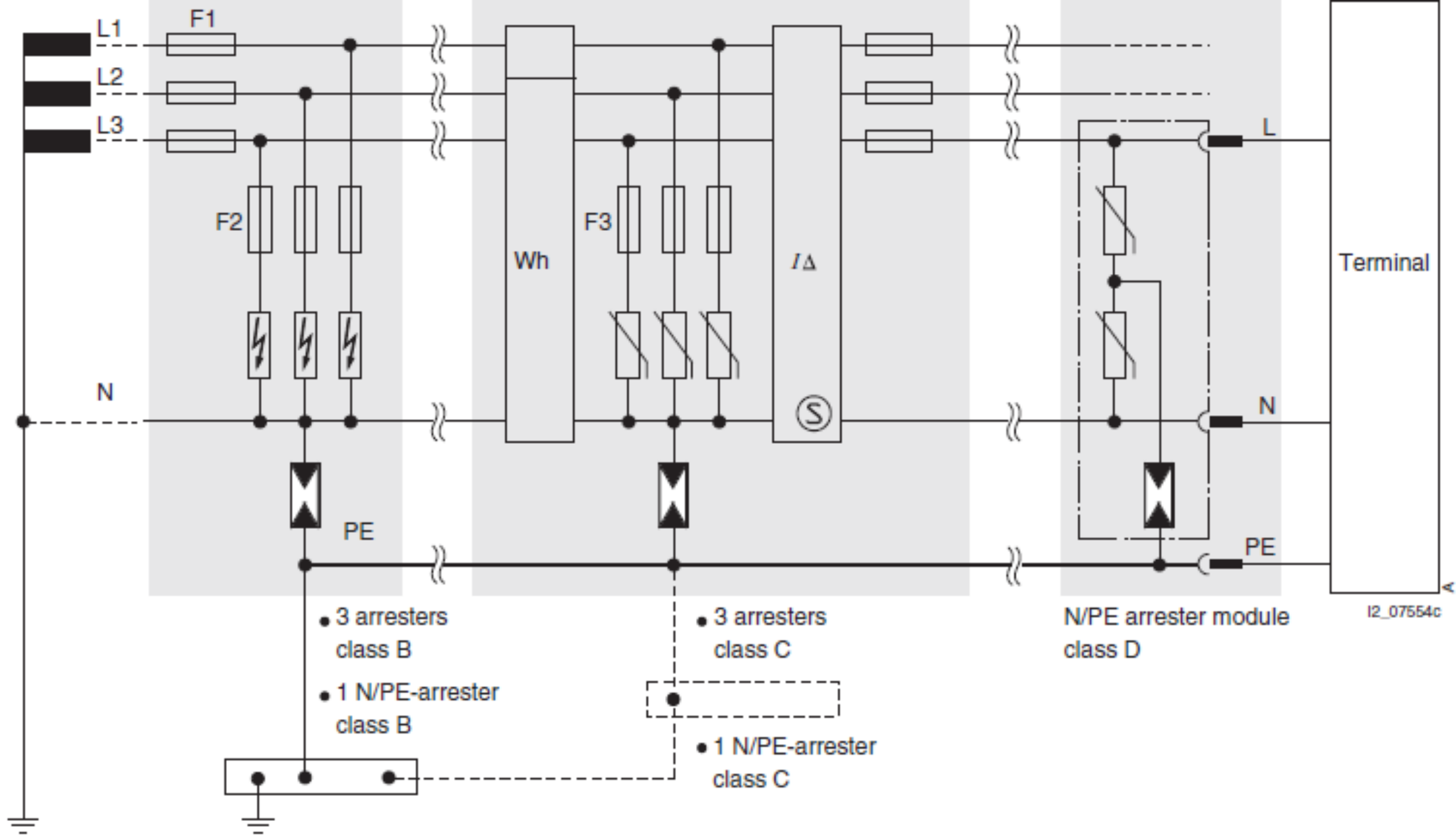


Minimum cable lengths:
 > 5 m if PE conductor is
not integrated in cable
 ≥ 15 m if PE conductor is
integrated in cable l

Or: application of a
decoupling reactor

TN-C system





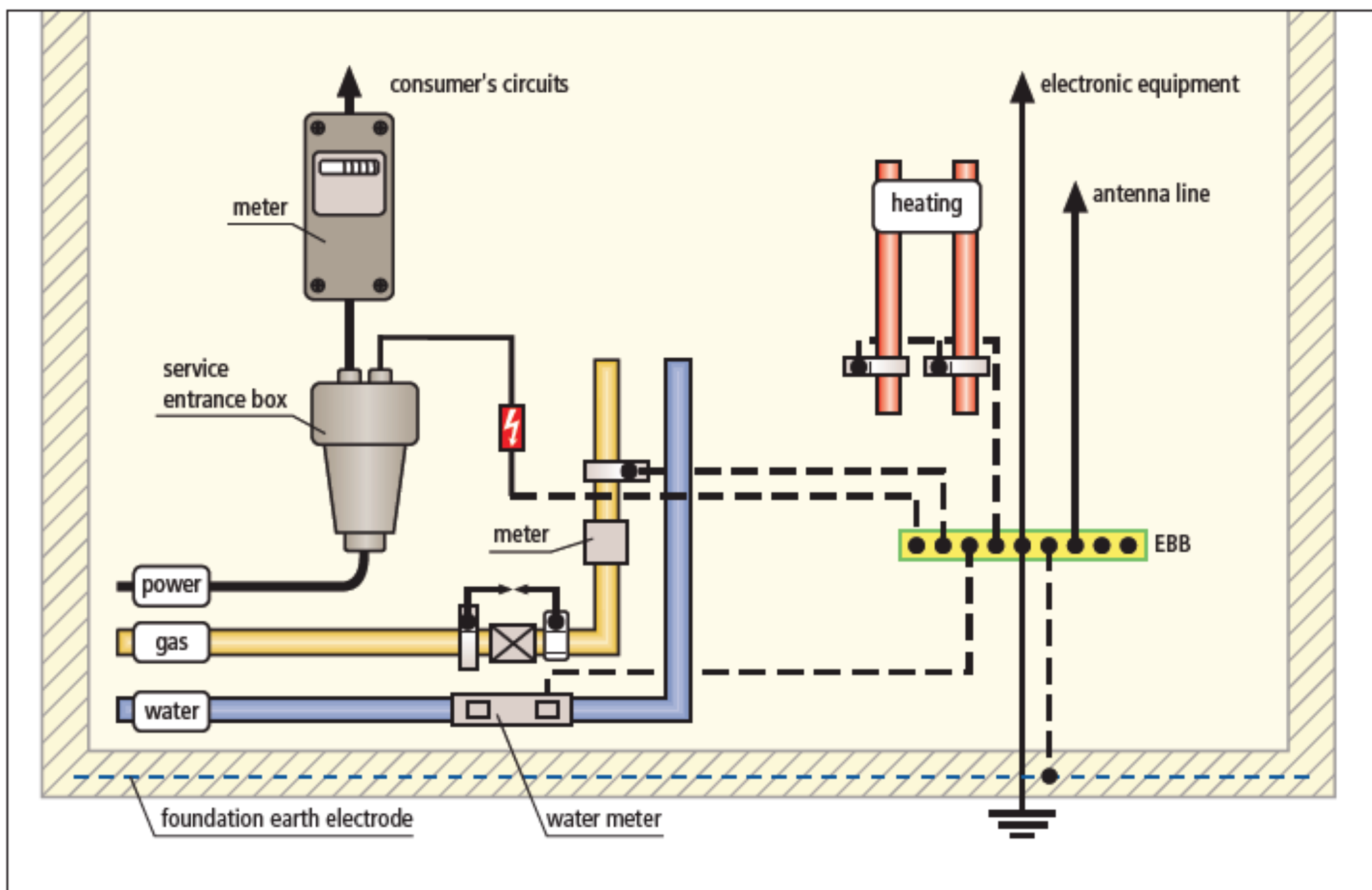


Fig. 7.5.2.4 Internal lightning protection with a common entry of all supply lines

Yıldırımdan Korunma

Lightning protection level LPL (former: Type of LPS)	Lightning impulse current carrying capability		
	in TN systems	in TT systems (L – N)	in TT systems (N – PE)
I	$\geq 100 \text{ kA} / m$	$\geq 100 \text{ kA} / m$	$\geq 100 \text{ kA}$
II	$\geq 75 \text{ kA} / m$	$\geq 75 \text{ kA} / m$	$\geq 75 \text{ kA}$
III / IV	$\geq 50 \text{ kA} / m$	$\geq 50 \text{ kA} / m$	$\geq 50 \text{ kA}$

m: Quantity of conductors, e.g. for L1, L2, L3, N and PE; m = 5

Table 7.5.2.1 Required lightning impulse current carrying capability of surge protective devices SPDs Type 1 according to the lightning protection level LPL and the type of low voltage consumer's installation

Darbe Koruma Düzeni (SPD) için Temel Büyüklükler

- Anma gerilimi (U_N)
- Anma yük akımı (I_L)
- Kısa devre dayanma kapasitesi (ISCCR)
- Maksimum sürekli gerilim (U_c) (anma geriliminden en az %10 yüksek gerilim)
- Gerilim koruma düzeyi (U_p)
- Darbe boşalma akımı (I_{imp}) (10/350 μ s)
- Anma boşalma akımı (I_n) (8/20 μ s)
- Yüksüz gerilim (U_{oc}) (1.2/50 μ s)-(8/20 μ s) karma darbe deneyi

Nominal voltage of the power supply system (mains) according to IEC 60038		Conductor-neutral conductor voltage derived from the total nominal AC voltage or nominal DC voltage	Rated surge voltage			
Three-phase	Single-phase		Overvoltage category			
			I	II	III	IV
V	V	V	V	V	V	V
		50	330	500	800	1500
		100	500	800	1500	2500
	120 – 240	150	800	1500	2500	4000
230/400 277/480		300	1500	2500	4000	6000
400/690		600	2500	4000	6000	8000
1000		1000	4000	6000	8000	12,000

Table 3: Overvoltage categories based on the nominal voltage

Yıldırımdan Korunma

- Endüklenen aşırı gerilimlerin enerjisi ve sonucu olan darbe akımları, doğrudan yıldırım çarpmasından kaynaklı akımlardan daha küçüktür ve 8/20 darbe akım dalga şekliyle tanımlanırlar.
- Doğrudan yıldırım çarpması akımlarını taşımayan aygıtlar ve bileşenleri, 8/20'lik darbe akımları ile denenirler.

Darbe akımı örnekleri

	i_{max} [kA]	Waveform [μs]	Q [As]	W/R [J/ Ω]
1 Test pulse current for lightning conductors	75	10/350	37,5	$1,5 \times 10^6$
2 Test pulse current for lightning arresters	15	8/20	0,27	$2,75 \times 10^3$

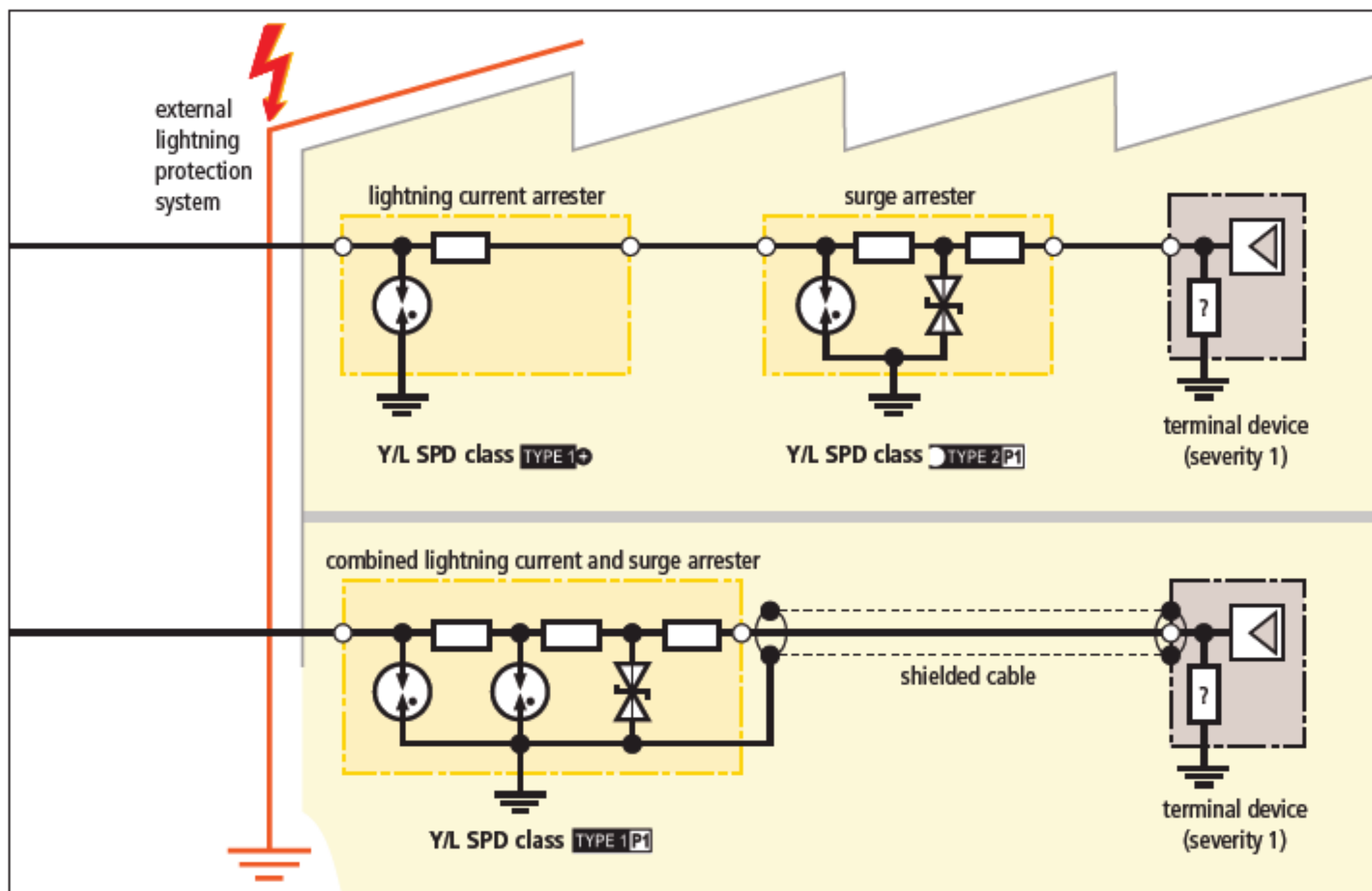
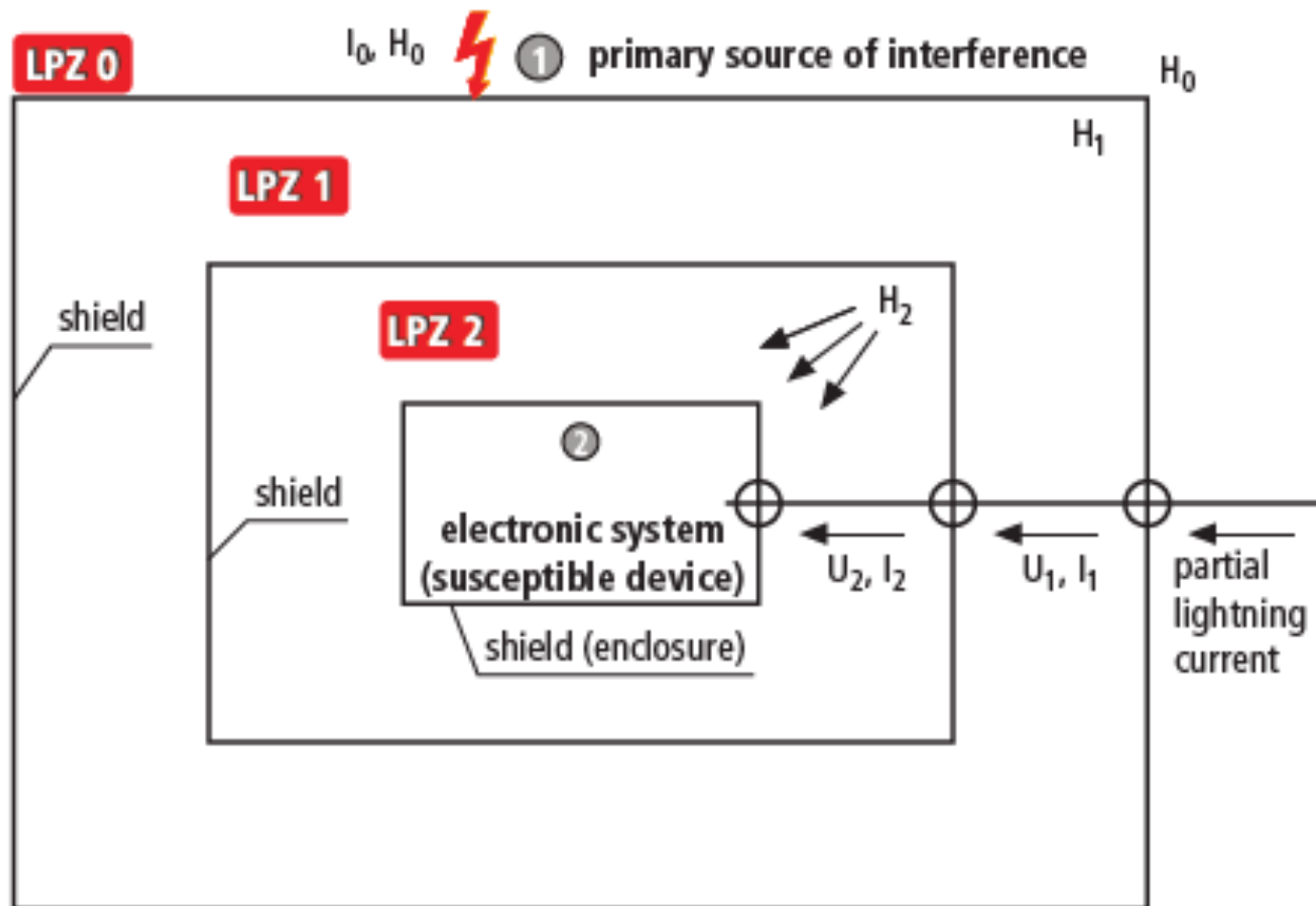


Fig. 7.6.3.1 Combination aid for Yellow/Line SPD classes (see also Figure 7.8.2.2)



① Primary source of interference defined according to the chosen lightning protection level by

IEC 62305-1 (EN 62305-1):

I_0 and H_0 : impulse 10/350 μ s and 0.25/100 μ s

② Electronic system (susceptible device) defined by the immunity against conducted (U, I) and radiated (H) lightning effects:

IEC 61000-4-5:

U: impulse 1.2/50 μ s

I: impulse 8/20 μ s

IEC 61000-4-9

H: impulse 8/20 μ s, (attenuated wave 25 kHz),
 $T_p = 10 \mu$ s

IEC 61000-4-10:

H: (impulse 0.2/5 μ s), attenuated wave 1 MHz,
 $T_p = 0.25 \mu$ s

Fig. 7.7.2.1 Electromagnetic compatibility in case of a lightning strike

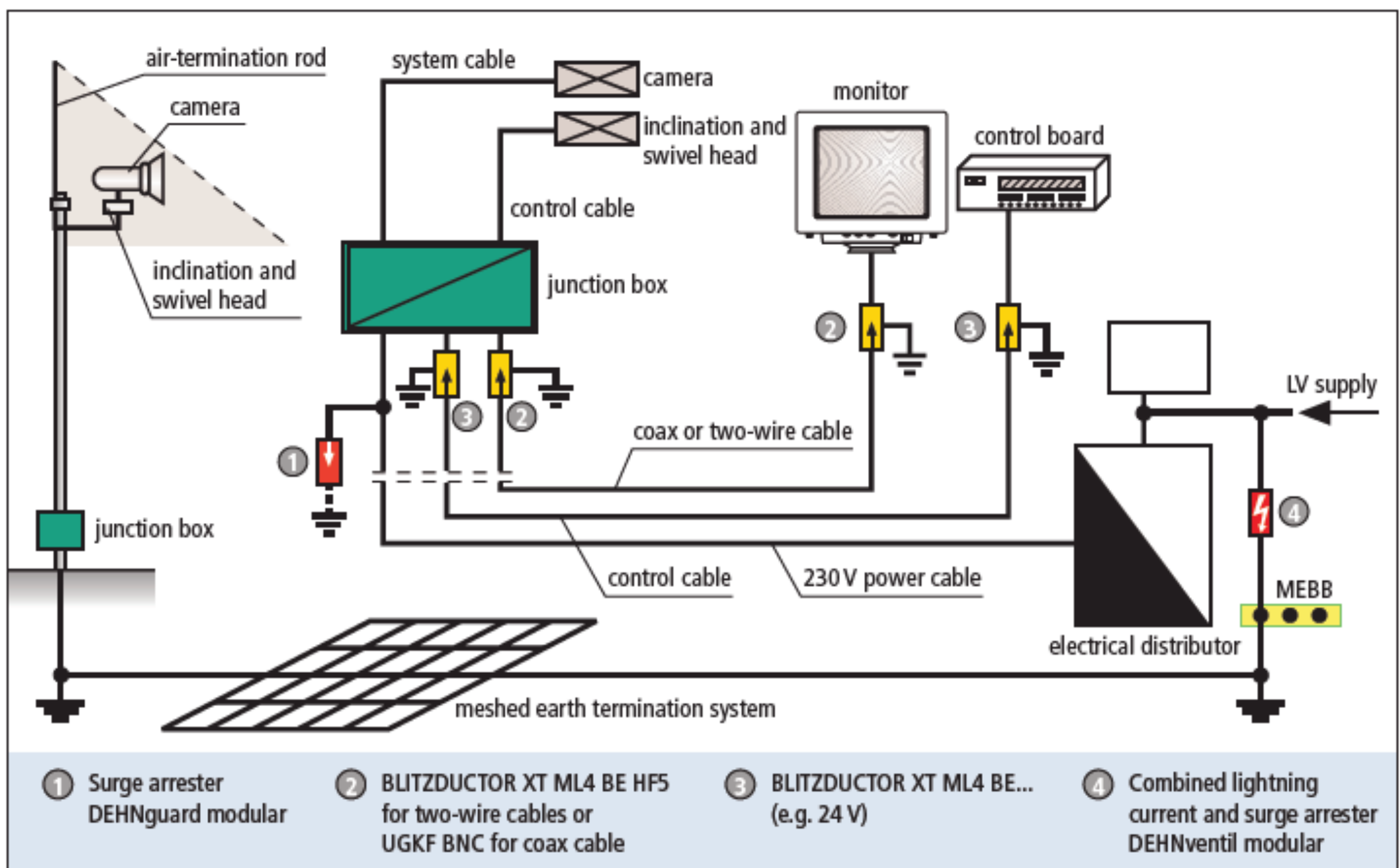


Fig. 9.7.1 Video surveillance system – Lightning and surge protection



Fig. 9.7.2 Camera for video surveillance in the protective area of the air-termination rod

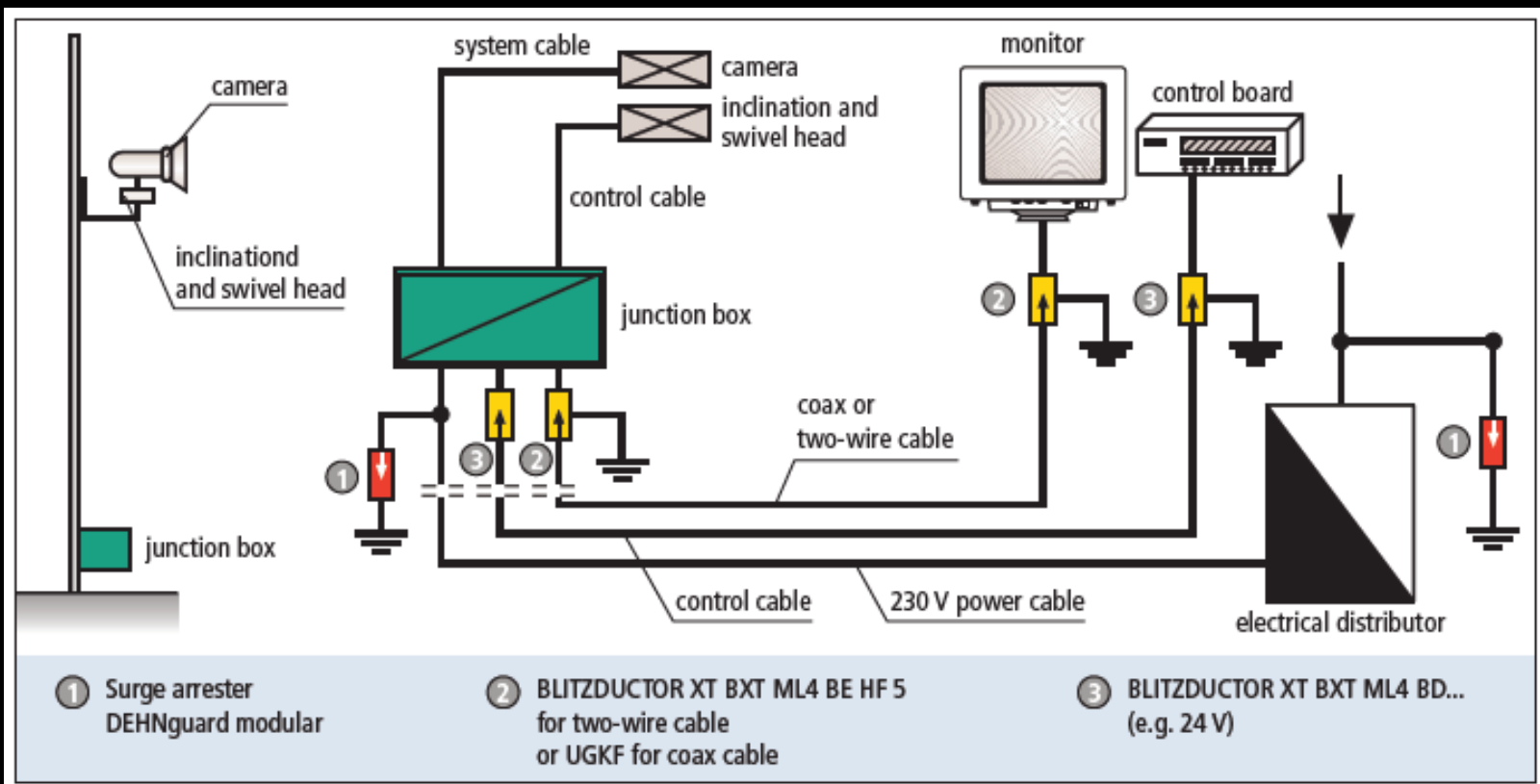
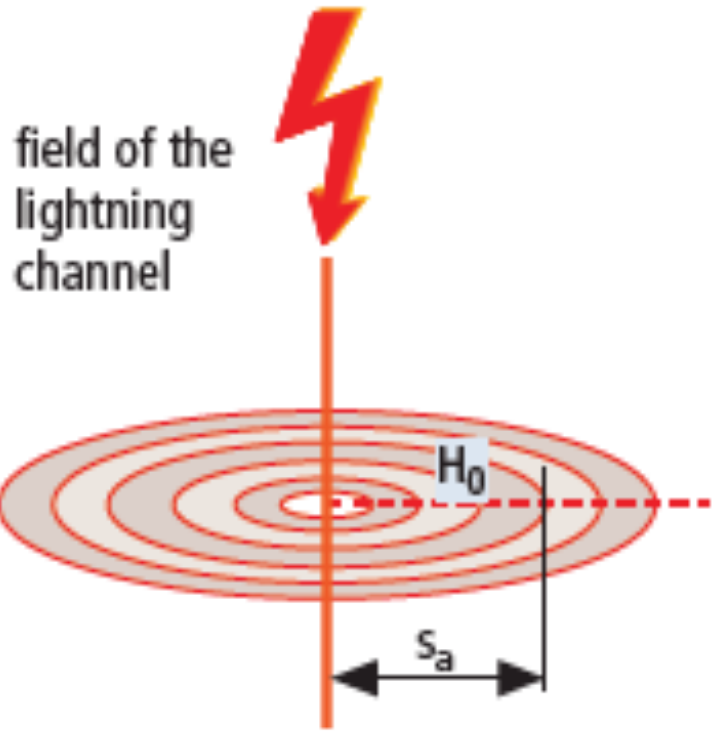
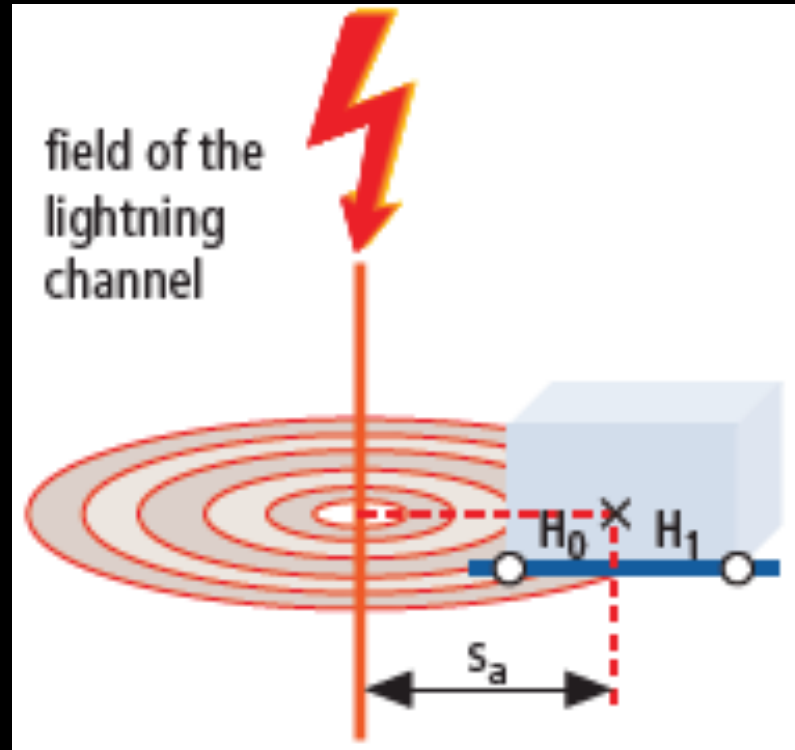


Fig. 9.7.3 Video surveillance system – Surge protection

Yıldırım Elektromanyetik Alanı



$$H_0 = \frac{i}{2\pi S_a} \text{ [A/m]}$$



without shield

$$H_0 = \frac{i}{2\pi S_a}$$

with shield

$$H_1 = \frac{H_0}{10^{SF_1/20}}$$

Ekranlama

Material	Shielding factor SF (dB)		w = mesh size (m) (w ≤ 5 m) r = rod radius (m) μ _r ≈ 200 (permeability)
	25 kHz (first short strike)	1 MHz (subsequent strike)	
Copper Aluminium	20 · log (8.5/w)	20 · log (8.5/w)	
Steel	$20 \cdot \log \frac{(8.5 / w)}{\sqrt{1 + 18 \cdot 10^{-6} / r^2}}$	20 · log (8.5/w)	

Example: Steel lattice

w (m)	r (m)	dB at 25 kHz	dB at 1 MHz
0.012	0.0010	44	57
0.100	0.0060	37	39
0.200	0.0090	32	33
0.400	0.0125	26	27

Table 7.3.1 Magnetic attenuation of lattices at a nearby lightning strike acc. to IEC 62305-4 (EN 62305-4)

Shielding material	ρ _c in Ωm
Copper	17.241 · 10 ⁻⁹
Aluminium	28.264 · 10 ⁻⁹
Lead	214 · 10 ⁻⁹
Steel	138 · 10 ⁻⁹

Table 7.3.1.1 Specific shield resistance ρ_c for different materials

Examples	Electric strength
LV cable	15 kV
TC cable	5 kV
TC subscriber's side	1.5 kV
Measuring and control equipment	0.5 – 1 kV

Table 7.3.1.2 Electric strength

Eş Potansiyel Bara- Topraklama

Topraklama Sistemleri

Yıldırımdan koruma sistemlerinde topraklama, **çubuk**, **halka** ve **temel topraklaması** şeklinde olabilir.

Topraklama sistemleri iki türe ayrılır.

1. A türü topraklama

- Yüzeysel topraklama
- Derin topraklama

2. B türü topraklama

- Halka topraklama
- Temel topraklaması



İzlediğiniz için sağolun ...

