

RIKKE ASUKOHA MÄÄRAMINE MAAKAABLITEL

KAABLIVIGADE OTSIMINE
REFLEKTOMEETRIGA



PROBLEEM

Vigane maakaabel põhjustab elektriliini osalise või täieliku rikke.

Kui avalik valgustus rikki läheb, läheb sõna otseses mõttes pimedaks. Valgustite operaatorid, munitsipaalettevõtted ja kohalikud omavalitsused vastutavad nende hoolduse ja töövõime taastamise eest. Kasutatava mõõtmistehnika eesmärk on madalpingepaigaldise rike võimalikult säästvalt leida ja selle põhjus välja selgitada. Mida täpsem on rikke asukoht, seda lühem on seisakuaeg ja madalamad on defektse kaabli ja selle ümbruse, sealhulgas maakaablite puhul ka pinna, näiteks kõnniteede ja tänavate, remondi- ja taastamise kulud.

KAABLIRIKKE ASUKOHA EELNEVA MÄÄRAMISE MEETOD

Kaabli rikke **asukoha eelmäaramist** kasutatakse rikete, näiteks isolatsiooni rikete täpseks määramiseks maakaablites ja see on elektrilise mõõtetehnika rakendus. Isolatsiooni ja takistuse mõõtmised annavad teavet kaabli rikke liigi kohta.

Nn rikke lokaliseerimisel määratakse selle kaugus. Kasutatakse kahte peamist meetodit: ajadomeeni reflektomeetria ja **siirdeprotsessi meetodit**.

Impulss- ehk **transientmeetod** kasutab lööklainegeneraatorit impulsspinge tekitamiseks, mis põhjustab kaabliisolatsiooni läbilöögi. Seda kasutatakse suure takistusega kaablriskete, läbilöögirikete ja vahelduvate rikete korral. Rikke lokaliseerimine saavutatakse koos ICE ja ARM eellokeerimise meetoditega.

Ajadomeeni reflektomeetria, tuntud ka kui **TDR**, on kiireim ja lihtsaim meetod kaablriskete leidmiseks.

Sümmeetrilistes kaablites määratakse ja lokaliseeritakse elektromagnetlainete levimisajad ja peegeldumismustrid. TDR-i kasutatakse madala takistusega kaablriskete, katkestuste ja harude leidmiseks, samuti kaabli pikkuse mõõtmiseks.

Kolmas on **sillameetod**, mis põhineb Wheatstone'i silla ahela põhimõttel. See võimaldab leida rikkeid isegi ühesoonelistes varjeta (signaali)kaablites. See sobib nii kõrge kui ka madala takistusega rikete, samuti välisolatsiooni rikete korral. Selle rakendamine on aga keerukam.

TDR-MEETOD

Elektrilise impulsi lennuaja mõõtmine edastamisest kuni kaja vastuvõtmiseni.

Kui kaabli levimiskiirus, mis sõltub ka dielektrikust, on teada, siis saab määrata otseselt kaabli peegelduspunkti kauguse või kaabli pikkuse.

Peegeldused või kaja tekivad tasakaalustatud kaabli impedantsi muutuste tõttu.

Näivtakistus muutub kaabliühenduste, harude **või** rikete tõttu. Isolatsiooni või voolujuhi rikked on põhjustatud purunemisest, korrosioonist ja paljudest muudest teguritest. Hargnenud **madalpingevõrkudes** võib rikke asukohta leida ka rikkis soonte takistuse võrdlemisel teise terve soonepaariga.

Vigaseid juhtmepeaare saab leida. Isegi väikseid impedantsi muutusi saab tuvastada juhtmete võrdlemisel.

Laiemad mõõteimpulssid tekitavad juhtmete võrdlusrežiimis selgemaid peegeldusi. Eraldusvõime aga väheneb.

Lühikesed impulssid pakuvad paremat eraldusvõimet, kuid lühema ulatusega.

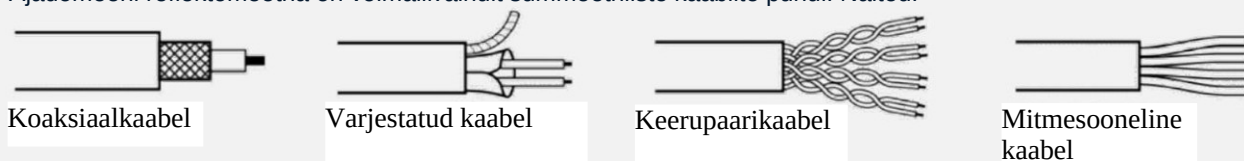
Eraldusfiltrid (400 V) võimaldavad reflektomeetri otseühendust isegi pingestatud Madalpingevõrguga.

Võimsate kaablipõletusseadmete abil söestatakse isolatsioon suure takistusega rikete korral.

Rikkeimpedants väheneb ja seda saab leida TDR-iga.

Sümmeetrilised kaablid

Ajadomeeni reflektomeetria on võimalik ainult sümmeetriliste kaablite puhul. Näited:



TÄIENDAVAD ASUKOHA MÄÄRAMISE MEETODID

Esialgsed asukoha määramise meetodid annavad teada ainult kaabli rikke kauguse. Täiendavaid asukoha määramise meetodeid kasutatakse kaabli täpse asetuse määramiseks ja rikke asukoha täpseks määramiseks. Akustilise täpse määramise puhul ühendatakse rikkega juhiga madalsageduslik signaal ja rikke asukoht määratakse sobivate vastuvõtjate abil. Teine meetod on sammupinge meetod, mida kasutatakse madala takistusega maandusriikete korral, kui akustiline täpse määramine pole võimalik.

TDR-i abil rikete tuvastamist mõjutavad tegurid

Mõõteimpulsi levimiskiirust ja seega ka mõõtmise täpsust määravad eelkõige dielektriku, juhtide või juhi ja varjestuse vahelise isolatsiooni erinevused või muutused, aga ka kaabli struktuur, vähem juhi konstruktsioon.

Mõjutavad tegurid VF

1. Kaabli isolatsioon:
 - a. materjal
 - b. paksus
 - c. Vananemine
2. Kaabli ehitus
 - a. Keerutus (tihedam keerutus pikendab kaablis olevat juhti!)
 - b. Soonte arv
 - c. Soonte vahekaugus
 - d. Varjestus
3. Juhi struktuur
 - a. isolatsioon
 - b. punutis
 - c. traat
 - d. materjal
 - e. ristlõige

Täpsus

TDR-iga pole ülitäpne asukoha määramine võimalik. Täpsus sõltub lühendamistegurist ja on vaid umbes 1%. Kaabel ei pruugi olla sirgelt asetatud. Lisaks pole ekraani lugemine ilma suumita täpne.

Lihtne meetod rikke asukoha täpsuse parandamiseks on mõõta mõlemast kaabli otsast.

Viga asub siis kahe tulemuse keskel.

Impulsi levimisaeg, levimiskiirus ja lühenemistegur

Vaakumis levib elektromagnetiline valguse kiirusega C_0 . Aine sees on levimiskiirus v madalam. Suhet v/C_0 nimetatakse kiirusteguriks VF.

$$VF = \frac{v}{C_0}$$

C_0 : $\sim 300 \times 10^6$ m/s.

Mõõteimpulss liigub läbi kaabli kaks korda: allikast peegelduspunkti ja tagasi. Kui peegelduspunkt on kaabli ots, arvutatakse kaabli pikkus l järgmiselt:

$$l = \frac{TL}{2} * C_0 * VF$$

TL: = Impulsi levimisaeg peegelduse edastamisest vastuvõtmiseni.

Täpsus

Lühikesed ja seetõttu madala energiaga impulsid võimaldavad vaid lühikesi vahemaid, kuid suure ruumilise eraldusvõimega:

Lühikesed impulsid > Kõrge eraldusvõime

Laiad impulsid > Pikem ulatus

Impulsi laiusena T_{Impuls} on seotud nn surnud tsoon. See on kaabli alguses asuv surnud tsoon l_{Tot} , kus tagasitulevad kujud on moonutatud või maskeeritud endiselt väljuva edastatud impulsi poolt.

$$l_{\text{Tot}} = T_{\text{Impuls}} * C_o * VF$$

Näide: 25 ns pikkuse testimpulsi puhul saavutatakse surnud tsoon $l_{\text{Tot}} = 6$ m kaabliga, mille $VF = 0,8$.

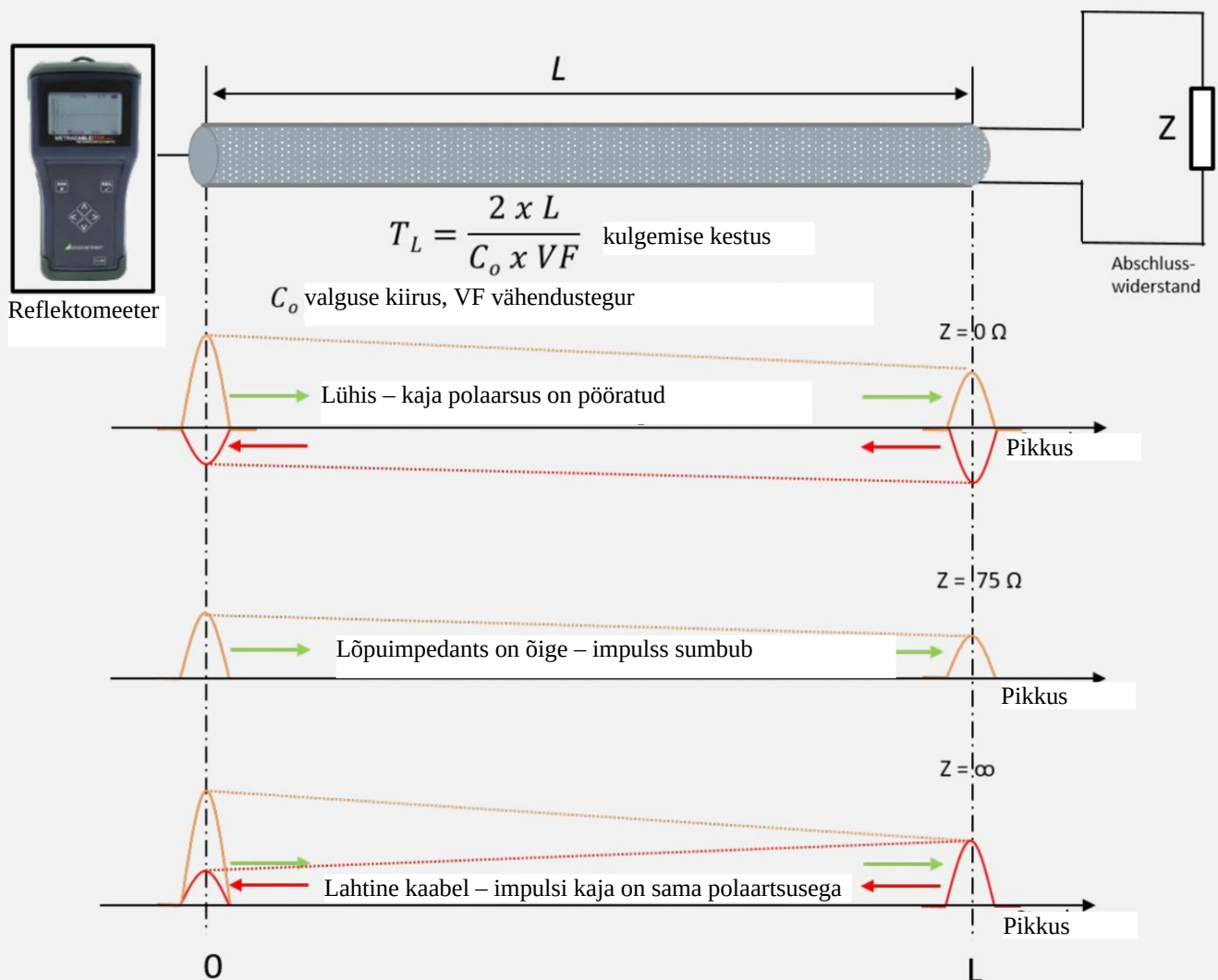
Kindlaksmääratud pikkusega ühenduskaabel võimaldab vältida edastus- ja vastuvõtuimpulsside ajalist kattumist.

Kuid isegi edastusimpulsi levimise ajal võib see varjata kahte lähestikku asetsevat sündmust (peegeldusi) kaablil.

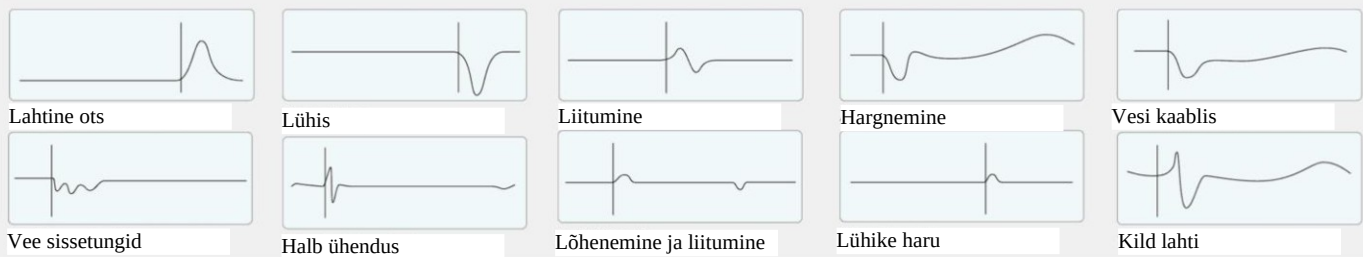
Näivtakistus

Selleks, et edastatud impulsi täisenergia, st maksimaalne amplituud, suunataks kaablist, peavad impulssgeneraatori väljundtakistus ja kaabli lainetakistus olema võrdsed. Koaksiaalkaablite puhul on see tavaliselt 75 oomi.

Impedantsi igasugune muutus edastatud impulsi levikuteel viib peegelduseni, mille amplituud sõltub impedantsi muutusest. Impedantsi suurenemine annab positiivse amplituudiga peegelduse ja impedantsi vähenemine negatiivse amplituudiga peegelduse edastatud impulsi puhul, millel on positiivne amplituud.



Näivtakistus muutub, nagu eelmises näites, kaabli otsas, aga ka harude ja kaabli rikete korral. Järgnevalt on toodud idealiseeritud tüüpilised peegeldusmustrid:



Mitme haru ja otsaga kaablis toimub mitu peegeldust, üks iga haru ja iga järgneva otsa kohta. Nendele peegeldustele lisanduvad kaabli riketest tulenevad peegeldused. See muudab rikke asukoha kindlakstegemise keeruliseks. Väga kasulik funktsioon on siinkohal võimalus võrrelda tervet juhti vigase juhiga, kasutades võrdlusfunktsiooni. Terve juhi peegelduskõver salvestatakse ekraanile taustana ja vigase juhi peegelduskõver kantakse sellele peale. Seejärel saab rikke hõlpsasti tuvastada kohas, kus kaks pilti hakkavad lahknema.

LÜHENDUSTEGUR

Lühenemistegur ehk kiirustegur on määrav tegur kaabli pikkuse ja kaabli rikkekoha kauguse täpseks mõõtmiseks.

Dielektrilisel materjalil on lühenemistegurile oluline mõju. Järgmises tabelis on näidatud koaksiaalkaablite lühenemistegur olenevalt dielektrilisest materjalist:

Isoleermaterjal	VF			v/2 (m/μs)		
Õhk / vaakum		~	1,00		~	149,9
Polüetüleen (PE)		~	0,66		~	98,9
PE vaht	0,77	...	0,85	115,4	...	127,4
PE sillad ja spiraalid	0,89	...	0,99	133,4	...	148,4
Teflon (PTFE)		~	0,70		~	104,9

Koaksiaalkaablite täiendavad lühendamistegurid: <https://de.wikipedia.org/wiki/Koaxialkabel>

Järgnev tabel sisaldab tüüpilisi kaabliisolatsiooni väärtusi erinevate rakenduste jaoks:

Kaablitüübid	VF			v/2 (m/μs)		
	Alates		Kuni	Alates		Kuni
Telekommunikatsioon						
PIC	0,65	...	0,72	98	...	108
Tselluloos	0,66	...	0,71	99	...	107
Geeltäitega	0,58	...	0,68	87	...	102
Koaksiaalkaabel	0,82	...	0,98	123	...	147
Keerupaarikaablid						
PE	0,64	...	0,67	96	...	101
PTFE		~	0,71		~	107
Paber	0,72	...	0,88	108	...	132
Jõukaablid / isolatsioon						
Pliikattega impregneeritud paber	0,50	...	0,57	75	...	85
Pliikattega kuiv paber	0,72	...	0,88	108	...	132
XLPE	0,52	...	0,58	78	...	87
PE		~	0,67		~	100
PVC	0,51	...	0,58	76	...	87
EPR	0,45	...	0,55	68	...	83

Toitekaablite lühendustegurid

Kaablitüüp	Isolatsioon	Sooned x mm ²	VF		v/2 (m/μs)	
Standardkaablid kuni 500 V		Cu, kui märkimata				
H05VV-F	PVC	3 G 1,5	~	0,56	~	83,9
H05VV-F	PVC	3 G 2,5	~	0,56	~	83,9
H05VV-F	PVC	5 G 1,5	~	0,60	~	89,9
H05VV-F	PVC	5 G 2,5	~	0,57	~	85,4
H05RR-F	Kummi	3 G 1,5	~	0,54	~	80,9
H05RR-F	Kummi	3 G 2,5	~	0,53	~	79,4
H05RR-F	Kummi	5 G 1,5	~	0,54	~	80,9
H05RR-F	Kummi	5 G 2,5	~	0,53	~	79,4
NYM-J	PVC	3 G 1,5	~	0,56	~	83,9
NYM-J	PVC	3 G 2,5	~	0,57	~	85,4
NYM-J	PVC	5 G 1,5	~	0,63	~	94,4
NYM-J	PVC	5 G 2,5	~	0,62	~	92,9
SiHF-J	Silikoon	3 G 1,5	~	0,57	~	85,4
SiHF-J	Silikoon	3 G 2,5	~	0,58	~	86,9
SiHF-J	Silikoon	5 G 1,5	~	0,58	~	86,9
SiHF-J	Silikoon	5 G 2,5	~	0,59	~	88,4
Kaablitüüp	Isolatsioon	Sooned x mm ²	VF		v/2 (m/μs)	
Jõukaabel kuni 1 kV		Al, kui märkimata	Alates	Kuni	Alates	Kuni
NA2XY	VPE	3 x 95/95	~	0,46	~	69,0
NA2XY	VPE	4 x 95	~	0,53	~	80,0
NA2XY	VPE	4 x 95+1,5	~	0,53	~	80,0
NAKLEY	Paber / õli	3 x 95 sm	~	0,58	~	87,5
NAKLEY	Paber / õli	3 x 95 se	~	0,54	~	81,5
NKBA	Paber / õli	4 x 10 re	~	0,49	~	73,0
NKBA	Paber / õli	4 x 25 sm	~	0,52	~	78,5
NKBA	Paber / õli	4 x 50 sm	0,50 ...	0,53	74,5 ...	80,0
NKBA	Paber / õli	3 x 70/35 sm	0,58 ...	0,59	87,0 ...	88,0
NYCY	PVC	3 x 16/16	~	0,50	~	75,0
NYCY	PVC	4 x 120/70	~	0,53	~	79,0
NY Y	PVC	4 x 1,5 Cu	~	0,60	~	90,0
NY Y	PVC	5 x 4 Cu	~	0,53	~	79,0
NY Y	PVC	4 x 10 Cu	~	0,51	~	76,0
NY Y	PVC	4 x 16 Cu	~	0,50	~	74,5
NY Y	PVC	4 x 70 Cu	~	0,58	~	86,5
Kaablitüüp	Isolatsioon	Sooned x mm ²	VF		v/2 (m/μs)	
Jõukaabel kuni 10 kV		Al, kui märkimata	Alates	Kuni	Alates	Kuni
NKBA	Paber / õli	3 x 25 sm	0,54 ...	0,55	81,5 ...	82,5
NKBA	Paber / õli	3 x 35 sm	0,55 ...	0,56	82,5 ...	83,5
NKBA	Paber / õli	3 x 70	~	0,53	~	79,0
NKY	Paber / õli	3 x 50	~	0,39	~	58,5
NA2YSY	PE	3 x 150/16	~	0,51	~	76,0
NA2XS(F)2Y	VPE	3 x 150 rm/25	~	0,54	~	81,0
NAKBA	Papier / Öl	3 x 95 sm	~	0,54	~	81,5
NAKBA	Papier / Öl	3 x 185 sm	~	0,55	~	82,0
NAKBA	Papier / Öl	3 x 240 sm	~	0,54	~	81,5
NEKBA (3kordne)	Papier / Öl	3 x 120 rm	~	0,49	~	74,0

Kui kaablitüübi lühendamistegur pole teada, saab selle hõlpsasti kindlaks määrata teadaoleva pikkusega kaabli võrdluspikkuse abil. Kiirustegurit kas reguleeritakse seni, kuni TDR-seadmega määratud kaabli pikkus võrdub võrdluskaabli pikkusega, või arvutatakse see pärast võrdluspikkust järgmise kolme muutuja abil:

$$VF = VF_r \frac{l}{l_r}$$

VF - kaabli VF, VF_r - võrdluspikkuse VF; l - tegelik kaabli pikkus; l_r - kaabli pikkuse võrdluspikkus.

Materjalide ja plastide erinevuste tõttu võib kaabli pikkuse mõõtmisel esineda väikesed mõõtmisvigu. Vajadusel tuleks lühendamistegurit korrigeerida võrdluspikkusega teadaoleva kaabli pikkusega.

Lühendamistegur ei ole samuti soontepaarist sõltumatu. Näide SiHF-J 5 G 2.5: kõrvutiste soonte VF = 0,59, vastasel juhul 0,58.

METRACABLE TDR PRO EELISED

METRACABLE on mugav ja kompaktne TDR-seade rikete leidmiseks igasugustes väljalülitatud kaablites, näiteks keerdpääkaablites, koaksiaalkaablites ja elektriliinides. Sellel on väga madal minimaalne eraldusvõime ja ulatus kuni 14 km. Reguleeritav impedants ja muudetav lõhendustegur vastavad kõigile eduka testimise nõuetele.

Automaatne test AUTO tagab vaid ühe klõpsuga, et impedants, impulsi pikkus ja mõõtepiirkond vastavad testitavale kaabliliigile. See garanteerib kiire diagnoosi.

Kõrge ekraani eraldusvõime ja taustvalgustus võimaldavad kaja täpset veahindamist.

Kaasasolev haldustarkvara haldab kaabliandmebaasi.

Praktiline referentsfunktsioon teeb kahe peegelduskõvera võrdlemise abil rikke leidmise lihtsaks.

RAKENDUSED JA KOGEMUSED

Avalikke teenuseid pakuvad ettevõtted kasutavad METRACABLE TDR PRO seadet juba avalike valgustussüsteemide kaabli- ja torurikete esialgseks asukoha määramiseks. Lisaks kasutatakse kaablipõletusseadmeid suure takistusega rikete takistuse vähendamiseks, et need METRACABLE TDR PRO abil lokaliseerida.

TDR-i rikkeotsingu piirangute hulka kuuluvad varjestamata kaablite ühesoonelised maaühendused. Neid ei saa TDR-iga alati tuvastada; näiteks kui isolatsioonirike esineb ainult kaabli sees oleva juhi välisküljel, siis kaabli teiste juhtide impedants ei muutu. Sellistel juhtudel võib silla mõõtmine vea väljastada.

METRACABLE on osutunud heaks tööriistaks ka hoonete koaksiaalkaablite rikete leidmiseks.

Kaabli katkestuste ja muljumiste, samuti sissetunginud kruvide kaugust sai täpselt mõõta, mis aitas vea leida. Kasulik oli ka METRACABLE TDR PRO AUTO-funktsioon, mis määrab automaatselt õige impedantsi ja optimaalse impulsi laiuse vastavalt kaabli pikkusele. Mõõtmisi tehti kuni umbes 25 meetri pikkustel antennikaablitel.

Lühemate lõikude puhul kasutati surnud tsooni ületamiseks lisakaablit.

Surnud tsoon on kaabli lõik vahetult pärast TDR-seadet. Selles lõigus kattuvad väljuv edastatud impulss ja tagasitulev kaja. Surnud tsoon vastab impulsi laiusele.



autor

KLAUS LEIBOLD

Tootejuht

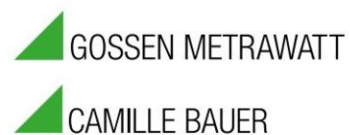
Gossen Metrawatt GmbH

+49 911 8602-532

Tel: +49 911 8602-80532

Faks: E-post: klaus.leibold@gossenmetrawatt.com

GMC INSTRUMENTS



Gossen Metrawatt GmbH

Südwestpark 15 - 90449 Nürnberg - Saksamaa
Tel.: +49 911 8602-0 - Faks: +49 911 8602-669



Esindaja Eestis: Energiatehnika OÜ
Aadress: Mäepealse tn 2, 12618 Tallinn
Tel 6551312
info@energiatehnika.ee
www.energiatehnika.ee

www.gossenmetrawatt.com; info@gossenmetrawatt.com