



Figura 1. I dispositivi compatti portatili come frida TD consentono di eseguire la diagnostica $\tan \delta$. I gestori dispongono così di dati importanti per determinare la durata di vita residua dei cavi

Immagini (tutte): Baur

Metodi combinati per una valutazione affidabile dello stato del cavo

Determinare la durata di vita residua dei cavi a media tensione

Affinché i gestori di reti possano utilizzare i cavi a media tensione il più a lungo possibile, senza pregiudicare la sicurezza di alimentazione, devono conoscerne con precisione lo stato. Molti gestori già utilizzano la misura delle scariche parziali per rilevare punti deboli e prevenire i guasti. La misura del fattore di dissipazione invece è meno usata. Eppure è proprio questo metodo che fornisce dati affidabili per rilevare lo stato di invecchiamento di un cavo e la sua durata di vita residua. Solo l'applicazione di entrambi i processi di diagnostica offre le informazioni necessarie per la gestione delle risorse aziendali. La misura del fattore di dissipazione e la misura delle scariche parziali possono essere eseguite in un unico processo di misura ed eventualmente abbinate a una prova del cavo.



Josua Sabo, Senior Sales & Application Engineer, Baur GmbH, Sulz (Austria)

Molti gestori di reti usano la misura delle scariche parziali per controllare tratte di cavo esistenti, riparate o nuove. La diagnostica di scarica parziale rileva i potenziali punti deboli nei cavi e nelle giunzioni, quali

- Errori nelle giunzioni, ad esempio giunti o terminali montati in modo errato
- Difetti nell'isolamento dei cavi XLPE (alberi elettrici)
- Un isolamento in carta impregnata insufficiente a causa dell'essiccazione
- Danni meccanici alla guaina del cavo

Tuttavia la diagnostica di scarica parziale non fornisce un quadro completo dello stato di un cavo. Così come in medicina si combinano diversi metodi per la diagnosi dello stato di salute, ad esempio la visita del paziente e gli esami di laboratorio, anche per la diagnostica dei cavi è opportuno aggiungere un ulteriore processo, in modo da ottenere informazioni più complete e affidabili sullo stato del cavo: la misura del fattore di dissipazione (detta anche misura $\tan \delta$).

Determinare l'invecchiamento dell'isolamento del cavo

La misura del fattore di dissipazione è un procedimento non distruttivo che consente di valutare lo stato dell'intera tratta del cavo. Il fattore di dissipazione dielettrico $\tan \delta$ è il rapporto tra potenza attiva e potenza reattiva. Questo valore fornisce informazioni sullo stato dell'isolamento del cavo e sul suo invecchiamento.

Negli apparecchi Baur la misurazione (vedere figure 1 e 2) del $\tan \delta$ è eseguita su più gradini di tensione impostabili e con una tensione sinusoidale a bassa frequenza dalla forma ideale (vedere il riquadro «truesinus»). Nei cavi invecchiati si riscontra una salita caratteristica del fattore di dissipazione, man mano che aumenta la tensione di misura; ciò consente una prima classificazione dei cavi ad esempio come "in buono stato", "da tenere sotto controllo" e "in cattivo stato". Questa classificazione non è comunque l'unico risultato: la misura del fattore di dissipazione fornisce informazioni su

- punti danneggiati dall'acqua (water tree) nell'isolamento dei cavi XLPE, che possono successivamente causare alberi elettrici e, di conseguenza, guasti
- punti danneggiati nell'isolamento del cavo isolato in carta impregnata, causati da essiccazione o umidità
- umidità in sezioni del cavo, nei giunti o nei terminali
- possibili scariche parziali
- potenziali effetti dell'invecchiamento

Sulla base delle informazioni ottenute con la misura del fattore di dissipazione, i gestori possono pianificare la sostituzione dei cavi vecchi in funzione dell'effettivo stato di invecchiamento. L'esperienza dimostra che: Molte tratte di cavo sono in uno stato sensibilmente migliore rispetto a quanto si possa ipotizzare in base alla durata di esercizio. Quei cavi possono quindi funzionare ancora per qualche anno, riducendo notevolmente i costi di manutenzione della rete. Per determinare in modo affidabile la durata di vita residua è disponibile l'analisi dei valori $\tan \delta$ con il software statex (maggiori informazioni di seguito).

La misura delle scariche parziali o la misura del fattore di dissipazione

Diagnostica dei cavi con tensione sinusoidale da 0,1 Hz

Per le misure diagnostiche e la prova del cavo qui descritte i dispositivi Baur utilizzano una fonte di tensione cosiddetta truesinus. Le fonti di tensione sono di uso pratico e danno risultati estremamente affidabili. Oltre alla tensione sinusoidale di forma ideale e bassa frequenza (VLF = Very Low Frequency da 0,1 Hz), i generatori di tensione erogano anche la tensione continua necessaria per la prova della guaina del cavo.

Il truesinus produce valori di misura precisi e riproducibili del $\tan \delta$ e delle scariche parziali. Proprio per la misura $\tan \delta$, importante per la valutazione dello stato effettivo dei cavi, la tensione sinusoidale VLF è più adatta rispetto ad altre forme di tensione o frequenze comuni, perché rende possibile l'individuazione di variazioni anche minime.

I vantaggi di truesinus sono:

- risultati di misura indipendenti dal carico
- massima precisione nella misura $\tan \delta$
- risultati di misura riproducibili
- prova e misure diagnostiche sono possibili in parallelo (Monitored Withstand Test)
- breve durata di misurazione
- fonti di tensione compatte



Figura 2. I risultati della misura del fattore di dissipazione possono essere elaborati in loco o in ufficio con il software 4 Baur

forniscono già da sole dati preziosi sullo stato dei cavi, ma analizzando i risultati nel contesto si ottiene un quadro più chiaro dello stato del cavo, nonché un valore aggiunto. Il seguente esempio spiega come i due metodi si integrano alla perfezione: Le scariche parziali nelle giunzioni sono influenzate dalla presenza di umidità e dalla penetrazione d'acqua, però l'umidità non è rilevabile con una misura delle scariche parziali, bensì con la misura del fattore di dissipazione. Se la misura $\tan \delta$ evidenzia che la giunzione è asciutta,

i risultati della misura delle scariche parziali potranno essere interpretati meglio.

Misura del fattore di dissipazione senza ulteriori oneri

La misura del fattore di dissipazione offre un vantaggio aggiuntivo con un minimo dispendio di tempo, perché la misura delle scariche parziali e quella del fattore di dissipazione possono essere eseguite in un unico processo di misura. Inoltre è possibile combinare la diagnostica dei cavi e la

Diagnostica dei cavi

prova del cavo nel cosiddetto Monitored Withstand Test (MWT). Il test MWT fornisce informazioni per la valutazione dello stato effettivo dei cavi e consente di adattare la durata di prova allo stato dei cavi. Il processo combinato è riconosciuto da commissioni quali IEEE e IEC ed è raccomandato per cavi invecchiati in esercizio. Con un "Full MWT" si esegue parallelamente anche una misura delle scariche parziali (Figura 3).

Il processo MWT programmato nei dispositivi Baur è suddiviso in due step: La prima fase comprende le misure diagnostiche, in cui la tensione di misurazione aumenta gradualmente e in modo non aggressivo per il cavo. I risultati danno una prima idea dello stato del cavo, così da identificare subito i cavi invecchiati. Se si sospetta che il cavo possa essere danneggiato, è possibile interrompere la procedura per non esporre il cavo alla sollecitazione di una tensione di prova ancora più alta.

Se il cavo è in uno stato sufficientemente buono, nella seconda fase viene eseguita la prova del cavo e contemporaneamente prosegue la diagnostica $\tan \delta$. In questo modo si misura l'andamento nel tempo del fattore di dissipazione, ottenendo maggiori informazioni sullo stato del cavo. In presenza di buoni valori di misura diagnostica è possibile ridurre la durata della prova dei cavi a 15 minuti, per non sollecitare inutilmente a lungo il cavo con la tensione di prova.

Viceversa, la durata della prova può essere prolungata per acquisire ulteriori valori di misura dei cavi critici, in particolare sulla deviazione del $\tan \delta$ nel tempo. La pratica dimostra che un forte aumento di $\tan \delta$ in questa fase della misurazione MWT può far identificare un punto debole con scariche parziali. La misura full MWT consente poi la localizzazione immediata e la valutazione del punto di scarica parziale.

Determinazione della durata di vita residua con statex

La valutazione dei risultati di misura e il confronto con le misurazioni precedenti o di tratte di cavo simili è possibile con il software 4 Baur (Figura 4). Il software consente di registrare i valori di misura e di creare velocemente affidabili report di misura.

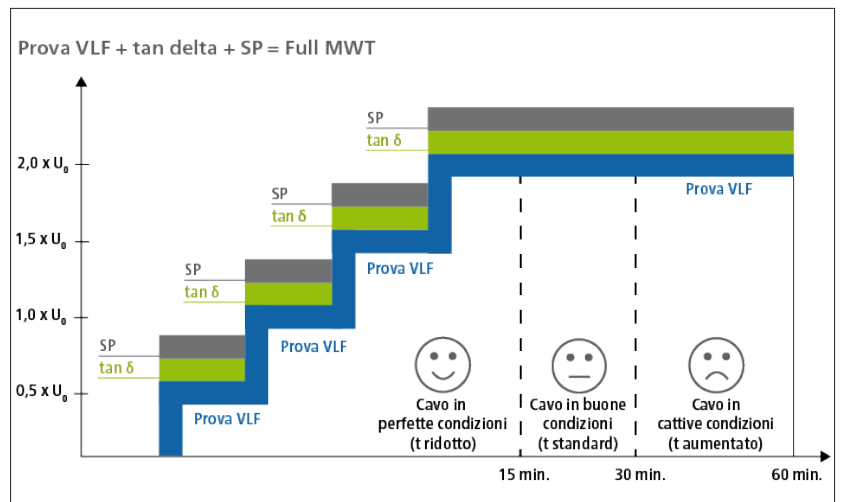


Figura 3. Nel cosiddetto Full MWT (Full Monitored Withstand Test) la misura del fattore di dissipazione ($\tan \delta$) e la misura delle scariche parziali (SP) vengono abbinate alla prova del cavo in un unico processo. A seconda dello stato del cavo, la durata della prova può essere accorciata o prolungata



Figura 4. Con il software 4 Baur i tecnici possono eseguire processi di misura, elaborare i risultati già durante la misurazione e creare report con dati affidabili. I gestori di rete possono definire processi di misura personalizzati per l'azienda, selezionando il metodo di misura più idoneo a una specifica filosofia diagnostica

Consente inoltre di definire i propri processi di misurazione e i valori limite per il processo di misurazione altamente automatizzato. La versione Office del software permette l'ulteriore elaborazione e archiviazione dei risultati di misura per la gestione delle risorse aziendali. L'analisi con l'ausilio del software Baur statex si spinge più in là. Questo software è stato sviluppato da Korea Electric Power Corporation (KEPCO) in collaborazione con Baur.

Il software di analisi statex elabora i dati della misura $\tan \delta$ e calcola la durata di vita residua dei cavi mediante un algoritmo brevettato. Si basa su un ampio pool di dati che raccoglie finora i risultati di misura di 120.000 cavi isolati in materiale sintetico e in carta impregnata oltre a tratte di cavi misti (Figura 5). La valutazione con statex fornisce un giudizio notevolmente più preciso dello stato del cavo rispetto, ad esempio, a una semplice valutazione con criteri

IEEE. Grazie a questa analisi, gli utilizzatori hanno potuto prolungare di alcuni anni la durata di impiego dei loro cavi.

Inoltre stalex fornisce raccomandazioni su quando andrebbe effettuata la successiva diagnostica dei cavi o su quando si dovrebbero pianificare interventi di manutenzione sulle giunzioni o la sostituzione del cavo. In questo modo si riducono i costi della diagnostica, perché non è più necessario adottare intervalli fissi di ripetizione dei controlli. Quando si ripetono le misurazioni sulla stessa tratta del cavo, il software include nel calcolo anche le misure precedenti e formula una prognosi più precisa della durata di vita residua.

Rimandare la sostituzione, riducendo i costi della rete

I due esempi seguenti mostrano il potenziale di risparmio offerto dal calcolo della durata di vita residua con stalex.

Esempio 1: È stata programmata la sostituzione di un cavo con guaina in piombo lungo 2.000 m, posato negli anni 1980. I costi di sostituzione ammonterebbero a ca. 300.000 euro. Inizialmente il gestore della rete prevedeva di vincolare la data di sostituzione al superamento di una prova del cavo con 3 x U0 per 15 minuti. Con esito positivo della prova, il cavo sarebbe potuto restare in funzione per altri dieci anni; in caso contrario sarebbe stato necessario sostituirlo.

Le misure diagnostiche sul cavo non hanno rilevato alcuna scarica parziale e mostrano valori stabili di $\tan \delta$ in relazione alla tratta di cavo. Lo stato del cavo è quindi sufficiente e non richiede una sostituzione a breve termine. Il software stalex ha rilevato una bassa velocità di invecchiamento e prognosticato un'affidabile durata di vita residua di ulteriori 20 anni. Al fine di una valutazione più precisa, stalex consiglia di ripetere la misurazione dopo dieci anni. Se quindi il cavo restasse in funzione dieci anni di più rispetto a quanto previsto dal gestore in caso di superamento della prova del cavo, i risparmi ammonterebbero ad almeno 100.000 euro e probabilmente anche molto di più, se si considerano i rincarati nel corso di 20 anni.

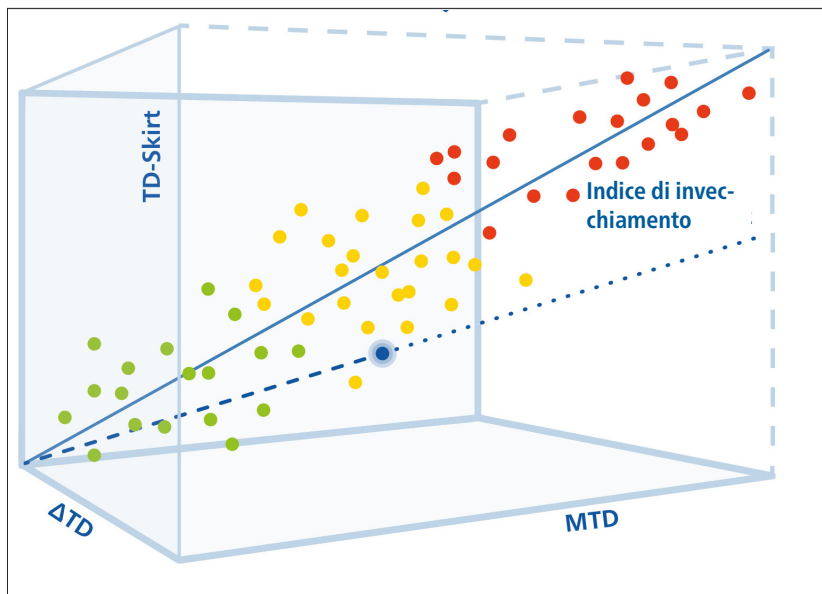


Figura 5. Il software di analisi stalex calcola la durata di vita residua in base alla misura del fattore di dissipazione. Inoltre, il software suggerisce quando sarà necessaria la prossima misura

Esempio 2: Un cavo in polietilene (PE) di prima generazione, installato negli anni 1980, ha raggiunto il termine della durata di vita programmata. Si ipotizza che il cavo, lungo 2.000 m, presenti invecchiamento di tipo water tree. Anche qui inizialmente l'azienda di distribuzione aveva programmato una prova del cavo di 15 minuti per decidere se proseguire o meno l'utilizzo del cavo. In caso di mancato superamento della prova sarebbe stata necessaria la sostituzione con costi di circa 300.000 euro.

La diagnostica dei cavi ha evidenziato che soprattutto la fase 1 presentava difetti water tree ed era fortemente invecchiata. Tuttavia non è stata rilevata alcuna scarica parziale. In caso di prova del cavo, probabilmente la fase 1 si sarebbe guastata dopo pochi minuti. Invece l'analisi con stalex ha evidenziato che, senza la sollecitazione di una prova VLF (Very Low Frequency), il cavo può rimanere in funzione ancora otto anni; viene consigliato di ripetere la misura dopo quattro anni. In questo caso il prolungamento della durata di vita del cavo di altri otto anni corrisponde a un risparmio di almeno 60.000 euro.

Riepilogo

Gli esempi evidenziano il vantaggio economico della misura del fattore di

dissipazione e della valutazione dei risultati con stalex. Certamente non in tutti i casi si avranno tempi di utilizzo prolungati. Tuttavia la pratica mostra che mediamente i cavi possono restare in funzione alcuni anni di più rispetto alla durata di vita residua stimata in base alla loro durata di esercizio o ai criteri IEEE. La diagnostica $\tan \delta$ rappresenta un valore aggiunto anche per la misura delle scariche parziali, i cui risultati sono meglio valutabili se si conosce il fattore di dissipazione. Poiché la misura delle scariche parziali e la misura del fattore di dissipazione possono essere combinate in un unico processo di misura, senza alcun rilevante dispendio di tempo, i gestori ottengono maggiori informazioni sulle tratte di cavo: informazioni che sono essenziali per determinare in modo sicuro la durata di vita residua dei cavi e pianificare gli investimenti per le sostituzioni in base agli effettivi bisogni invece che alle scadenze.

ja.sabo@baur.eu

www.baur.eu/it