

Energetische Selektivität in Niederspannungsnetzen - Teil 3

Die Energieselektivität ist eine Verbesserung und Verallgemeinerung der im vorhergehenden Kapitel beschriebenen «Pseudo-Zeitselektivität»: Die Selektivität ist vollständig, wenn für jeden I_p die Energie, die der nachgeordnete Leistungsschalter durchlässt, niedriger ist als die Energie, die erforderlich ist, damit der Auslöser des vorgeschalteten Leistungsschalters anspricht.

Die technische Verwirklichung des Prinzips der Energieselektivität ist der Gegenstand eines von Merlin Gerin angemeldeten Patentes und führte zur Entwicklung der Leistungsschalter Compact Typ NS. Diese schnellen und stark strombegrenzenden Leistungsschalter entsprechen der Entwicklung des Bedarfs:

- Erhöhung der installierten Leistung, was eine Erhöhung der Kurzschlussströme und damit des Ausschaltvermögens mit sich bringt.
- Bestrebungen, die Beanspruchungen der Anlage minimal zu halten und den Kurzschlussstrom in Bezug auf Stärke und Dauer zu begrenzen.

Um Energieüberlegungen anstellen und die Energieselektivität verstehen zu können, ist die Wahl des Darstellungsrahmens der Kennlinien ein wichtiger Faktor, der im folgenden Abschnitt beschrieben wird. Hierauf werden wir das Energieverhalten des strombegrenzenden Leistungsschalter und der verschiedenen Auslöser untersuchen.

Darstellungsrahmen der Energien

Die gewöhnlich für Selektivitätsuntersuchungen verwendeten Kennlinien $t_c = f(I_p)$ sind für strombegrenzende Leistungsschalter unbrauchbar, wenn die Ströme höher sind als $25 I_n$ (was bei der Frequenz 50 Hz Ausschaltzeiten von weniger als 10 ms entspricht). Die Selektivität muss aufgrund von Ausgleichsvorgängen untersucht werden und nicht mehr aufgrund von periodischen Vorgängen. Das Verständnis der Energieselektivität erfordert die Darstellung und Verwendung:

- der Stromwelle, die der Leistungsschalter bei der Unterbrechung durchlässt und durch ihr Joulesches Integral $\int i^2 \cdot dt$ (oft durch $I^2 \cdot t$ ausgedrückt) dargestellt wird und der Ausschaltenergie entspricht (E_c).
- der Empfindlichkeit der Auslöser für die Energie, die dem Stromimpuls entspricht.

Logischerweise werden diese Charakteristiken durch die Kennlinien $I^2 \cdot t = f(I_p)$ anstelle von $t_c = f(I_p)$ dargestellt, (siehe Abb. 10). Es ist zu bemerken, dass die Norm IEC 947-2 die Charakterisierung der Leistungsschalter durch diese Kennlinienart vorsieht. Aus praktischen Gründen wird die Kennlinie $I^2 \cdot t = f(I_p)$ in einem doppeltlogarithmischen System dargestellt. Für die Selektivitätsuntersuchung liegen die Grenzen des Ausschalt- $I_2 \cdot t$ (E_c der Leistungsschalter) für prospektive Ströme zwischen 1 und 100 kA zwischen 10^4 und $10^7 \text{ A}^2 \cdot \text{s}$. Somit erstreckt sich E_c über drei Dekaden und der Strom über zwei. Wenn man berücksichtigt, dass die abgeschnittene Stromhalbwelle einer Sinus-Halbwelle mit derselben Neigung am Anfang wie der prospektive Strom entspricht, kann E_c mit den folgenden Ausdrücken in Funktion von I_p dargestellt werden (siehe Anhang «Unterbrechung mit Strombegrenzung»):

□ für $t \geq 10 \text{ ms}$

$$(2) \Rightarrow E_c = I_p^2 \cdot t$$

□ für $t < 10 \text{ ms}$

$$(3) \Rightarrow E_c = 4 \cdot f^2 \cdot I_p^2 \cdot t_{vc}^3$$

oder

$$(4) \Rightarrow E_c = \frac{3}{4\sqrt{2} \cdot f \cdot I_p}$$

Ausgehend von diesen Gleichungen ist es möglich, das Achsensystem $I^2 \cdot t / I_p$ zu verbessern, um zusätzliche Informationen zu erhalten: virtuelle Ausschaltzeit (t_{vc}) und begrenzter Scheitelwert von i (\hat{i}_c).

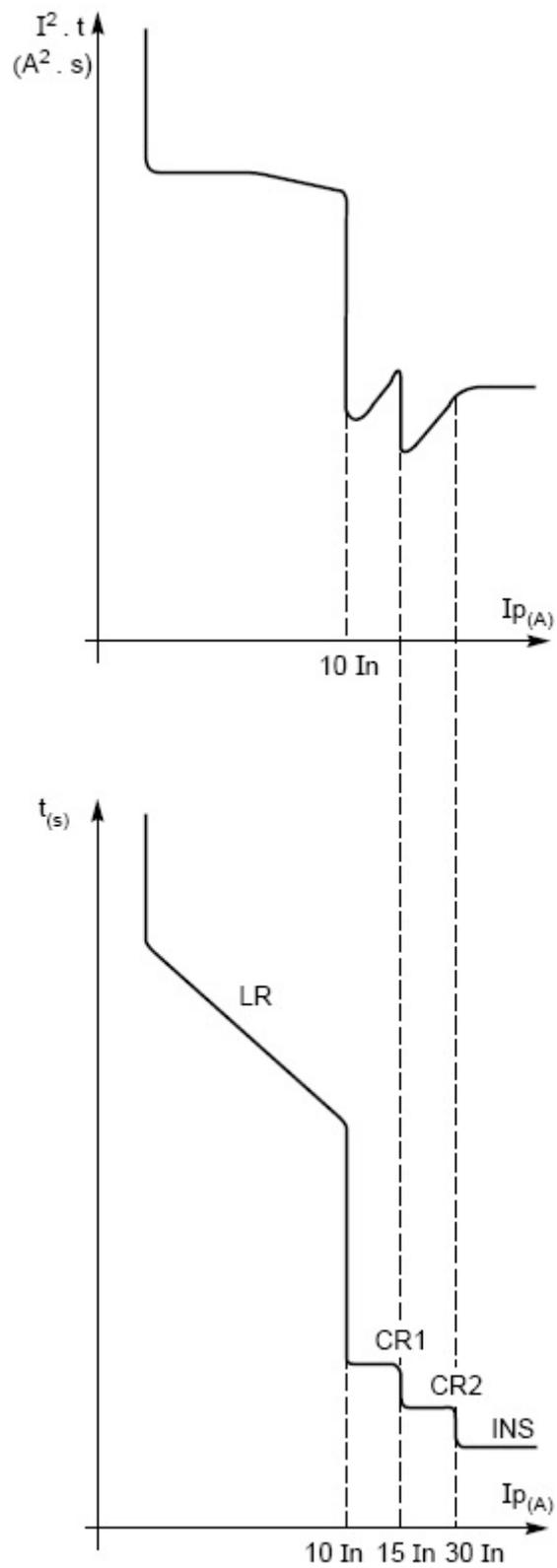


Abb. 10: Kennlinien $t_c = f(I_p)$ und $I^2 \cdot t = f(I_p)$ eines mit einem elektronischen Auslöser ausgerüsteten Leistungsschalters.

Zeitgeraden (siehe Abb. 11)

Für eine bestimmte Frequenz kann ein Netz von Geraden für konstante Ausschaltzeiten in das doppeltlogarithmische Gitter eingetragen werden. Beispiel für $f = 50 \text{ Hz}$:

- Die Gerade für $t = 20 \text{ ms}$ entspricht der am meisten angetroffenen Ausschaltzeit, wenn I_p höher ist als der Schwellwert der Schnellauslöser und niedriger als der Wert für das Abheben der Kontakte:

$$(2) \Rightarrow E_c = I_p^2 \cdot 2 \cdot 10^{-2}.$$

- $t = 10 \text{ ms}$ ist die Ausschaltzeit am Begrenzungsschwellwert:

$$(2) \Rightarrow E_c = I_p^2 \cdot 10^{-2}.$$

- $t = 9 \text{ bis } 4 \text{ ms}$ drücken das Strombegrenzungsverhalten des Leistungsschalters aus:

$$(3) \Rightarrow E_c = I_p^2 \cdot t_{vc}^3 \cdot 10^4.$$

Geraden der Scheitelströme

Ebenso kann aufgrund der Gleichung

$$E_c = \frac{c^3}{4\sqrt{2} \cdot f \cdot I_p}$$

ein Netz von Kurven für konstante Grenzscheitelströme in das Basisgitter eingetragen werden (siehe Abb. 11). Es ist zu bemerken, dass dieser Darstellungsrahmen eine Charakterisierung der Leistungsschalter und Auslöser bei 50 Hz für dreipolige, zweipolige oder einpolige Kurzschlüsse gestattet.

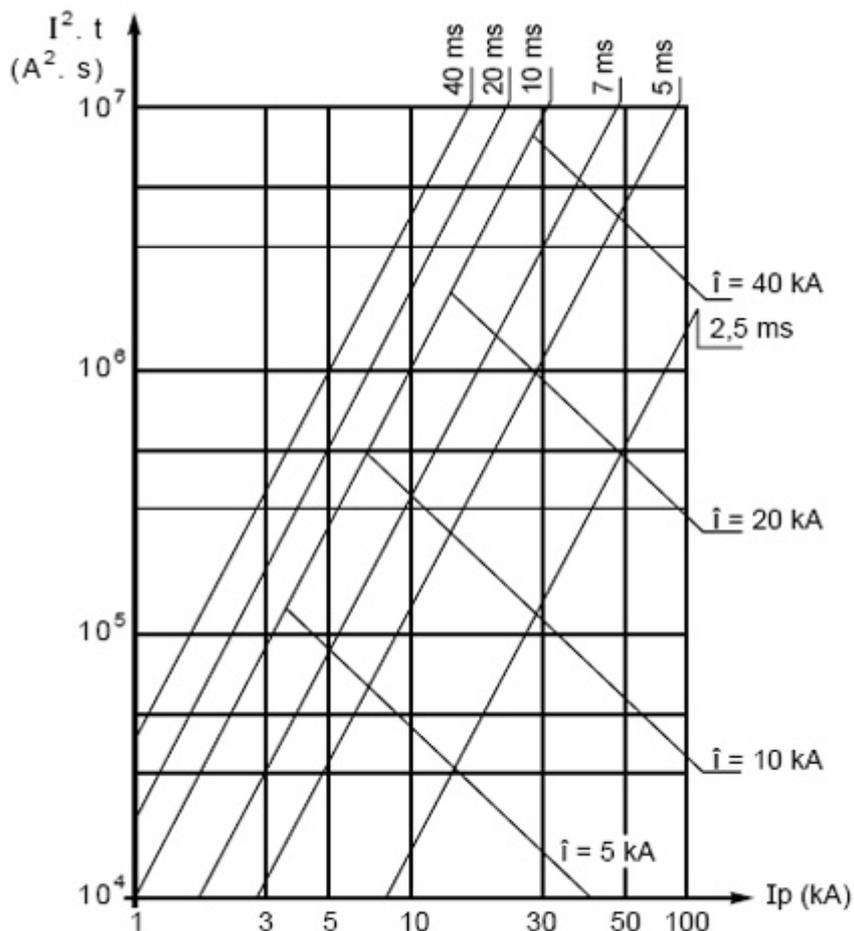


Abb. 11: Darstellungsrahmen für die Energien.

Charakterisierung eines Leistungsschalters Compact Typ NS

Darstellung des Ausschalt $I^2 \cdot t$

Die Charakteristik des $I^2 \cdot t$, das ein Leistungsschalter durchlässt, geht aus genormten Typprüfungen oder numerischen Simulationen hervor, die für eine bestimmte Spannung und Frequenz durchgeführt werden. Die folgenden Kennlinien entsprechen dreiphasigen Kurzschlüssen bei 400 V/ 50 Hz. Dieselben Kennlinien können für andere Spannungen oder Frequenzen aufgezeichnet werden. Die eingetragenen Werte sind die erhaltenen Maximalwerte für verschiedene Einschaltwinkel (obere Grenzwerte) (siehe Abb. 12).

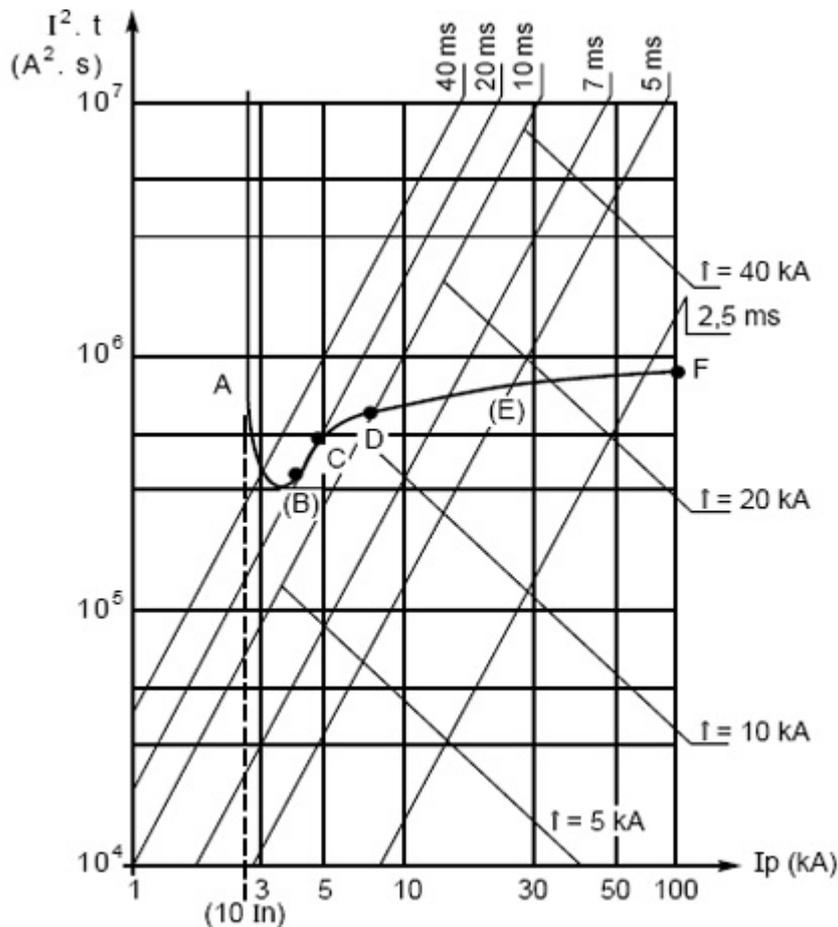


Abb. 12: Unterbrechungskennlinie eines strombegrenzenden Leistungsschalters.

Interpretation der Kennlinie Der Kurve der Abbildung 12 zeigt einen Leistungsschalter Compact Typ NS, Baugröße 250 A, der mit einem elektromechanischen Auslöser mit abhängiger Kurzverzögerung (CRD), dessen Schwellwert 10 In beträgt, ausgerüstet ist, können verschiedene Informationen entnommen werden. Sie charakterisieren die einzelnen Phasen der Ausschaltverhaltens des strombegrenzenden Leistungsschalters in Abhängigkeit vom Wert des prospektiven Kurzschlussstroms I_p .

- Punkt A: Wenn der Kurzschlussstrom die Auslöseschwelle des Auslösers erreicht, beträgt die Ausschaltzeit für einen INS- oder CRD-Auslöser typisch 50 ms.
- Punkt B: Wenn der Kurzschlussstrom höher als der Schwellwert des Auslösers ist, nimmt die Ausschaltzeit ab und pendelt sich ab 16 In auf 20 ms ein.
- Punkt C: Wenn der Kurzschlussstrom dem Schwellwert für das Abheben der Kontakte entspricht, beginnt die Strombegrenzung durch die Einfügung einer Lichtbogenspannung in den Stromkreis. Diese Begrenzung bewirkt eine Aufhebung der Phasenverschiebung zwischen der Spannung und dem Strom und damit eine Reduktion der Kurzschlussabschaltzeit von 20 auf 10 ms bei zunehmendem I_p .
- Punkt D: Wenn der Kurzschlussstrom ungefähr dem 1,7fachen des Schwellwertes für das Abheben der Kontakte entspricht, genügt die Aufreißenergie der Kontakte, damit sie sich vollständig öffnen. Die Ausschaltzeit beträgt in diesem Fall typisch 10 ms. Diese Unterbrechung vom Reflex-Typ ist autonom und benötigt nur einen Auslöser, um den ausgeschalteten Zustand des Leistungsschalters zu bestätigen und zu verhindern, dass sich die Kontakte ungewollt wieder schließen.

- Bereich E: Wenn sich der Kurzschlussstroms über den 2fachen Schwellwert für das Abheben der Kontakte entwickelt, wird die Begrenzung des Kurzschlussstroms zunehmend wirksam, was sich als immer kürzere Ausschaltzeiten auswirkt.
- Punkt F: Das Ende der Kennlinie stellte den Grenzwert des Ausschaltvermögens des Leistungsschalters dar.

Diese Kennlinie ist sehr reich an Informationen:

- Schwellwert des Auslösers (I Schwellwert; Punkt A)
- Ausschalt- $I^2 \cdot t$ in Funktion des prospektiven Stroms
- Strom für den Beginn der Abhebens der Kontakte (I_r ; Punkt C)
- Ausschaltvermögen (Punkt F)
- Ausschaltzeit (t_{vc}) in Funktion des prospektiven Stroms
- Begrenzter Scheitelwert (i_c) in Funktion des prospektiven Stroms
- Strom, über welchem $t_{vc} < 10$ ms (Beginn der Strombegrenzung)