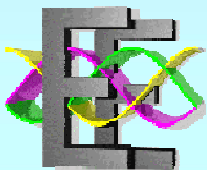
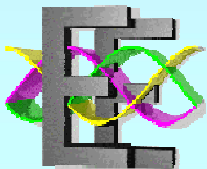
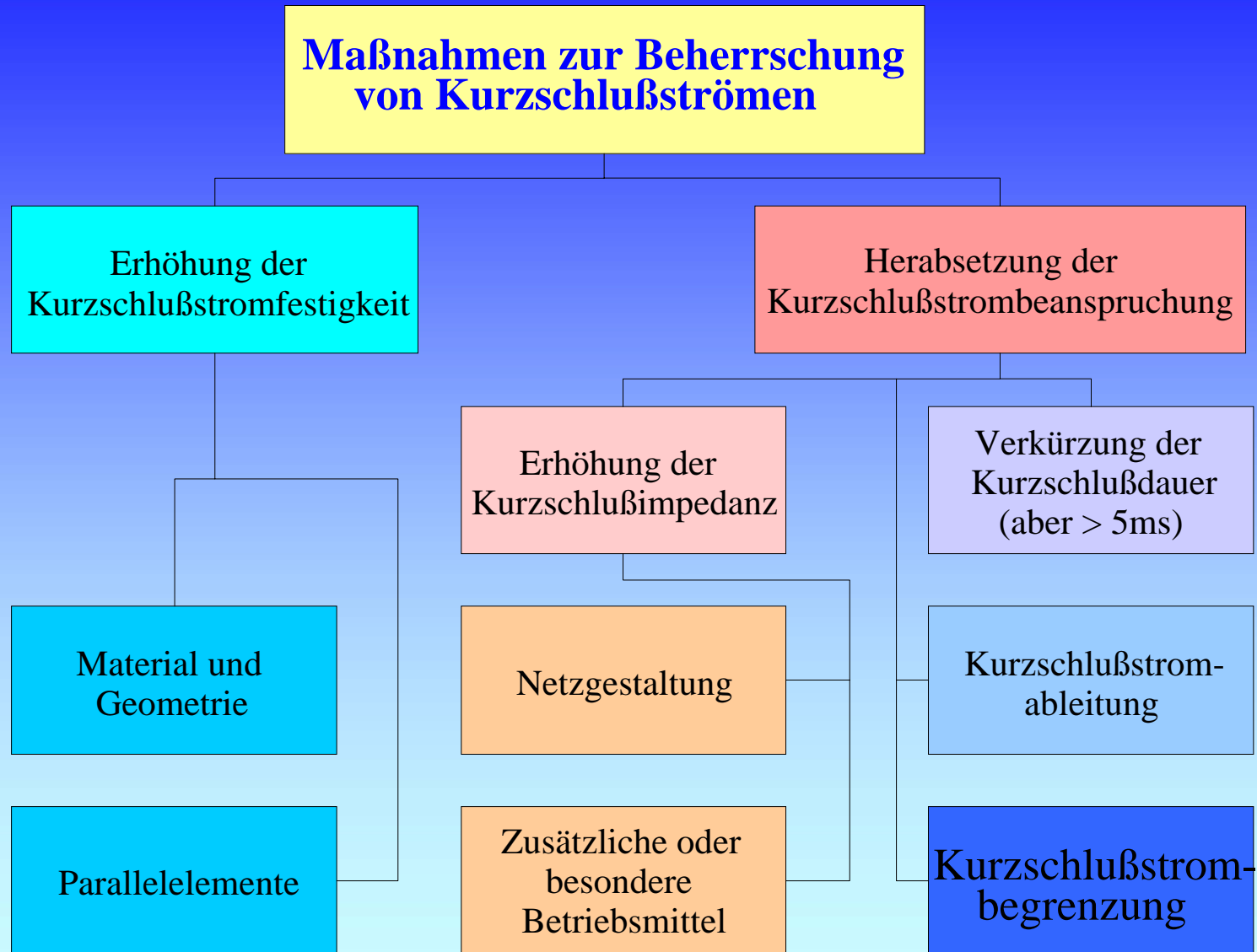


Kurzschlußstrombegrenzung auf Stromrichterbasis

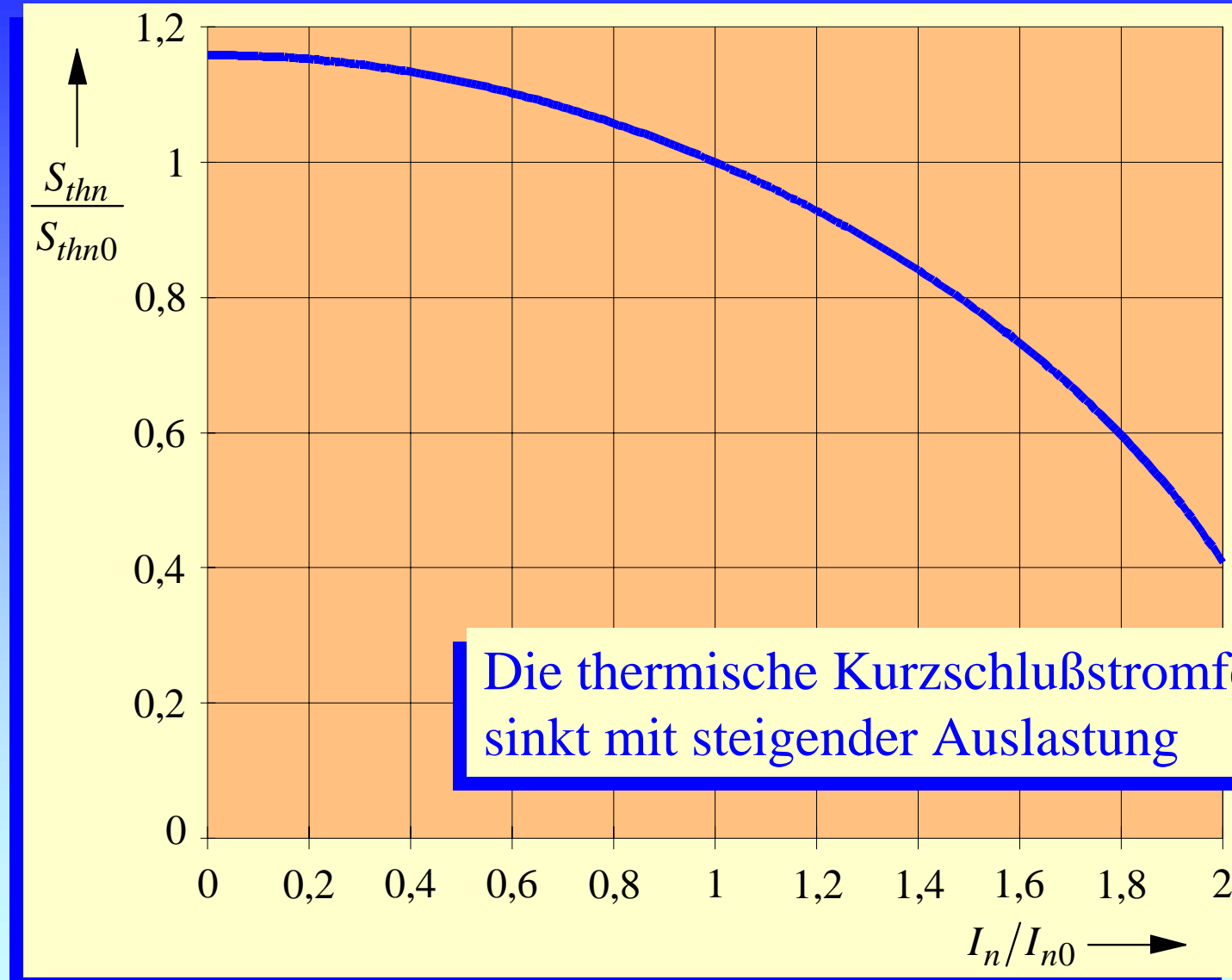
Prof. Dr.-Ing. Gerhard Herold & Dipl.-Ing. Hubert Rubenbauer
Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgung
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



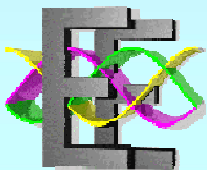
Maßnahmen zur Beherrschung von Kurzschlußströmen



Thermische Kurzschlußstromfestigkeit und Auslastung



Die thermische Kurzschlußstromfestigkeit sinkt mit steigender Auslastung

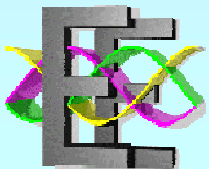
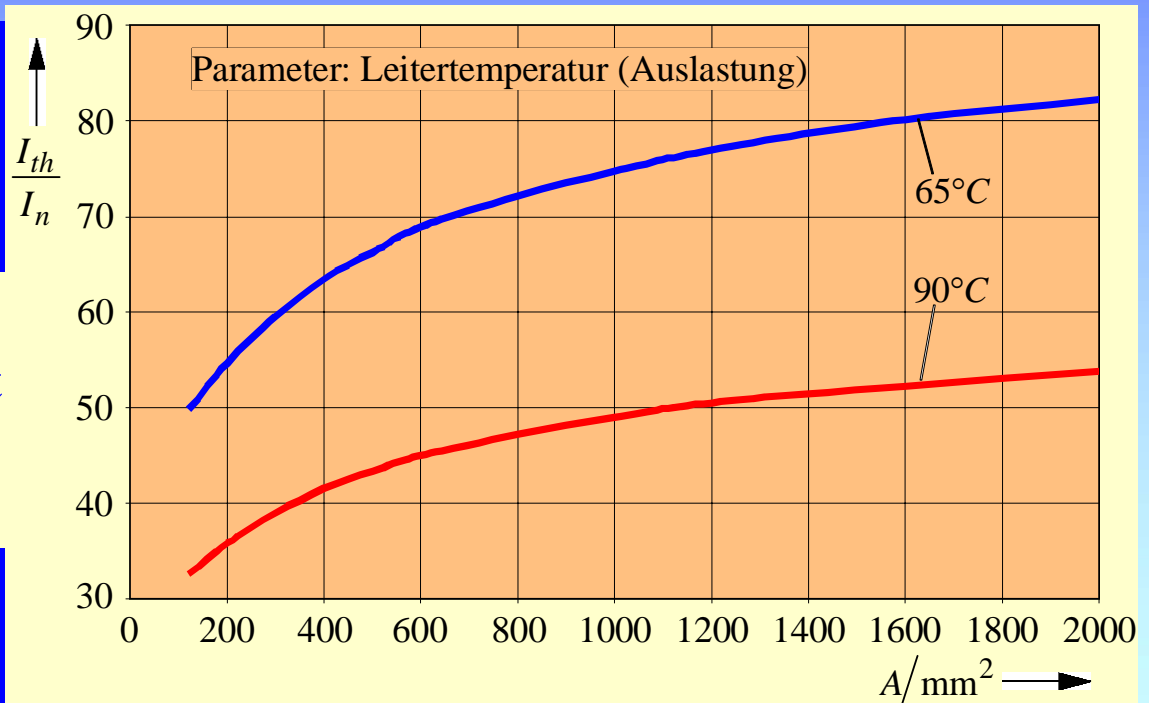


Natürliche Kurzschlußstromfestigkeit

Elektrische Betriebsmittel, die für einen bestimmten Betriebsstrom bemessen sind, besitzen gleichzeitig eine dem entsprechende thermische und mechanische Kurzschlußstromfestigkeit

Diese „natürliche Kurzschlußstromfestigkeit“ steigt mit dem Bemessungsstrom

Natürliche thermische Kurzschlußstromfestigkeit von rechteckigen Leiterbahnen aus Kupfer



Störlichtbogen-Beanspruchung in NS-Anlagen

Die Beanspruchung durch Störlichtbögen hängt von der im Lichtbogen umgesetzten Energie ab

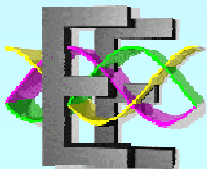
In Niederspannungsanlagen kann die Störlichtbogenleistung nahezu gleich der zur Fehlerstelle maximal übertragbaren Leistung werden

$$P_{B\ NS} \leq 0,8 P_{\max} = \frac{0,8}{2 + 2 \cos \varphi_k} S_k'' \approx \frac{0,8}{2 + 2 \cos \varphi_k} \frac{S_{nT}}{u_k}$$

Beispiel



$$\begin{aligned} S_{nT} &= 1600 \text{ kVA} \\ &10 \text{ kV} / 0,4 \text{ kV} \\ u_k &= 0,06 \\ P_B &\leq 9700 \text{ kW} \end{aligned}$$



Störlichtbogenbeanspruchung in MS-Anlagen

In Mittelspannungsanlagen wird der Kurzschlußstrom durch einen Störlichtbogen praktisch kaum begrenzt.

Die Störlichtbogenspannung in MS-Anlagen liegt wegen ähnlicher Abstandsverhältnisse in der gleichen Größenordnung wie in NS-Anlagen

$$U_{B MS} \leq 3 U_{B NS}$$

$$P_{B MS} \leq u_B S_k'' \approx u_B \frac{S_{nT}}{u_k} \quad \text{mit} \quad u_B = \frac{U_{B MS}}{U_n}$$

Beispiel

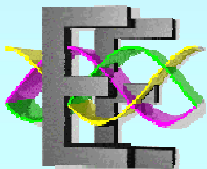


$$S_{nT} = 20\,000 \text{ kVA}$$

$$110 \text{ kV} / (6,3) \text{ } 10,5 \text{ (21) kV}$$

$$u_k = 0,12$$

$$P_B \leq 26\,500 \text{ kW}$$

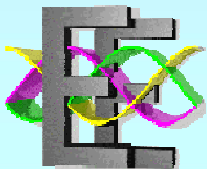
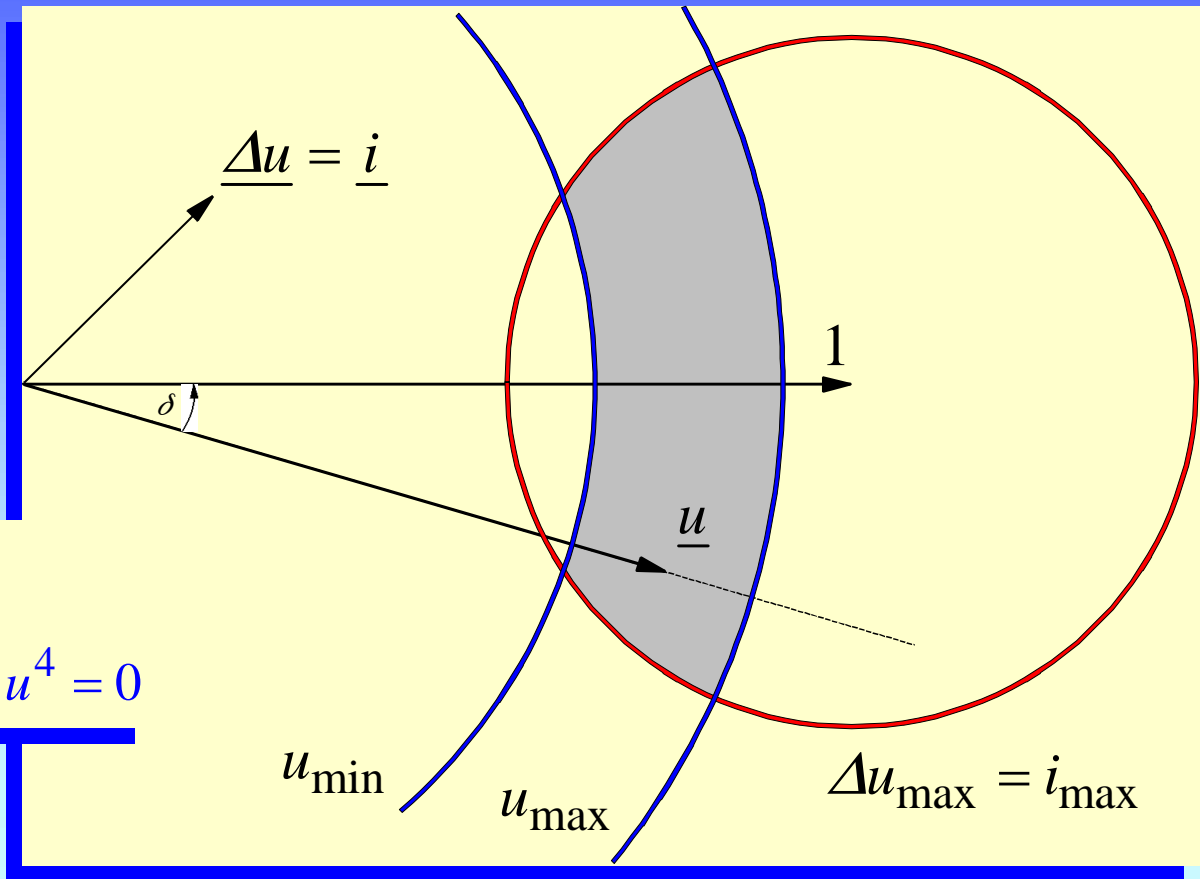


Versorgungsqualität und Leistungsdichte

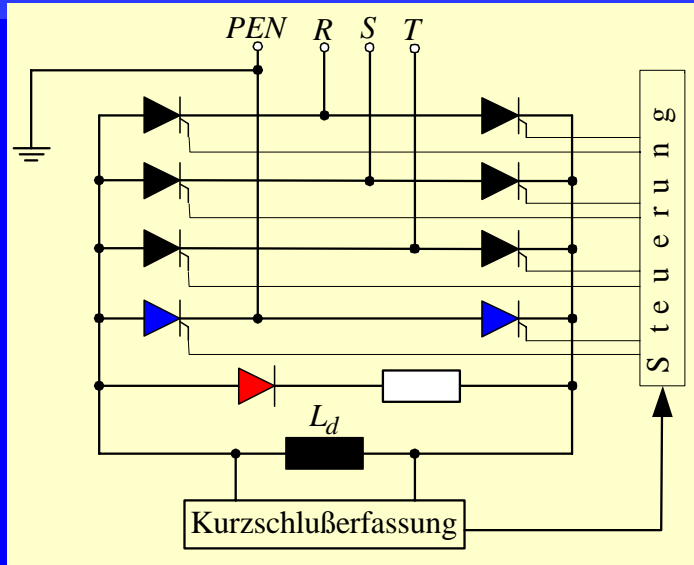
Höhere Leistungsdichte und bessere Versorgungsqualität (Power Quality) erfordern höhere Kurzschlußleistungen

$$\underline{s} = \underline{u} \underline{\Delta u}^* = \underline{u} (1 - \underline{u}^*)$$

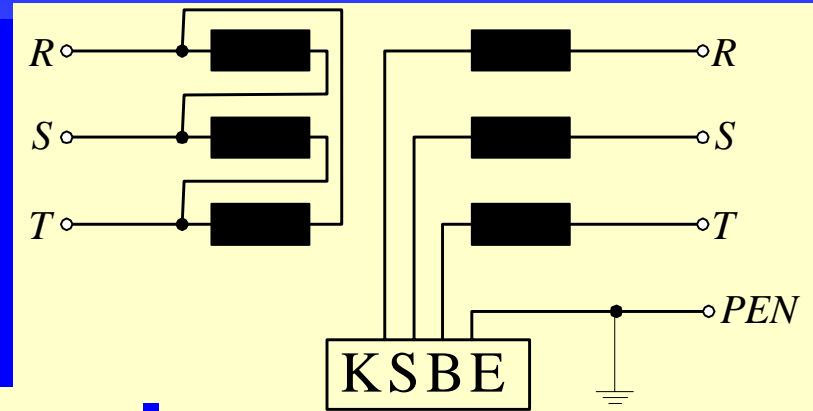
$$s^2 + 2 s u^2 \cos \Delta\varphi - u^2 + u^4 = 0$$



Stromrichter zur Kurzschlußstrombegrenzung



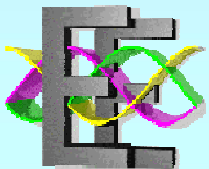
Grundschaltung
der KSBE



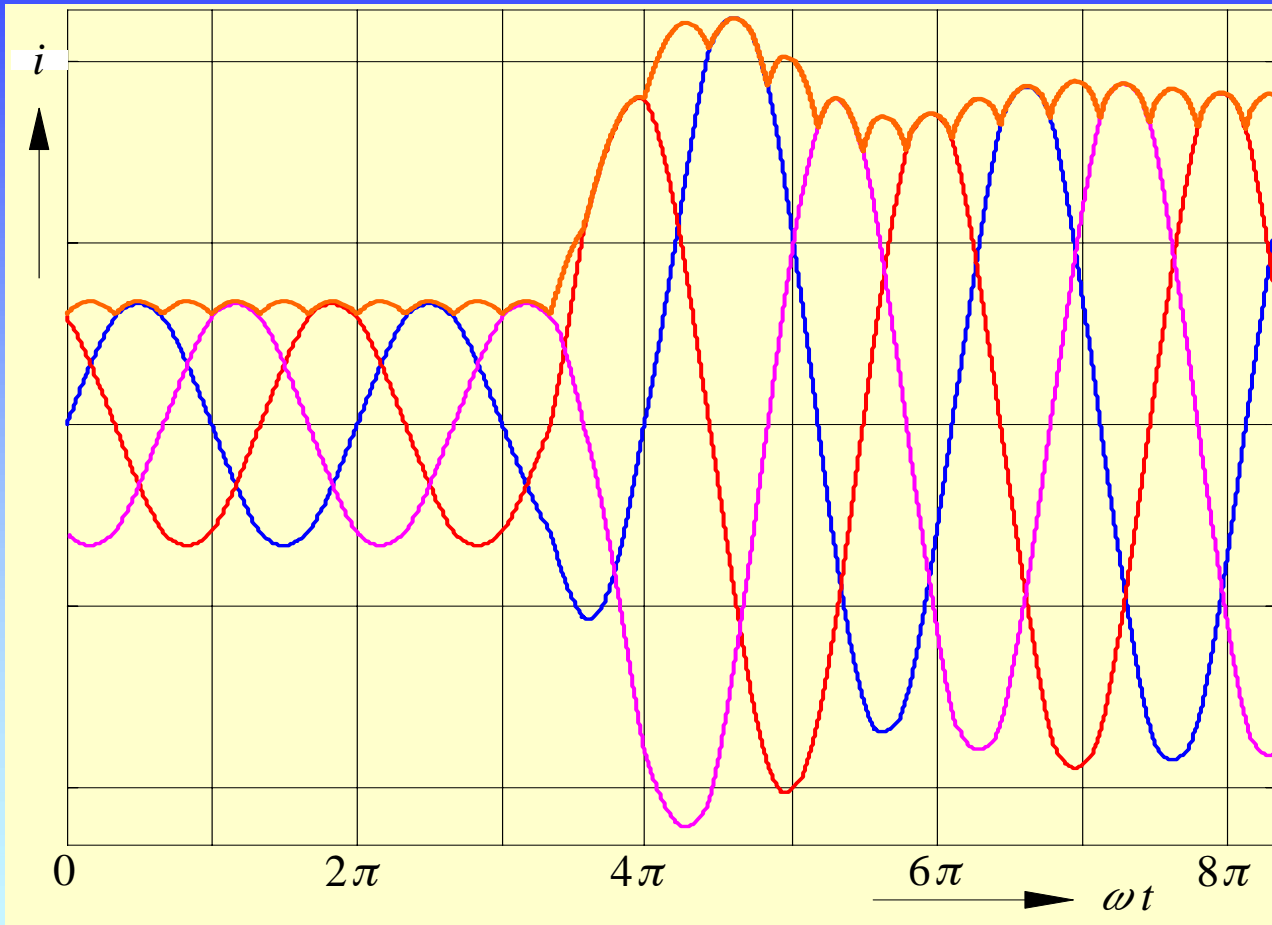
KSBE im
Trafo-Sternpunkt

Kombination zweier Wirkprinzipien:

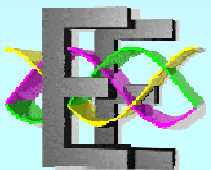
- Begrenzung des Stromanstieges und des Stoßkurzschlußstromes mit der Gleichstromdrossel (selbsttätig)
- Ausschalten im natürlichen Stromnulldurchgang durch Zündimpulssperre nach Kurzschlußanregung



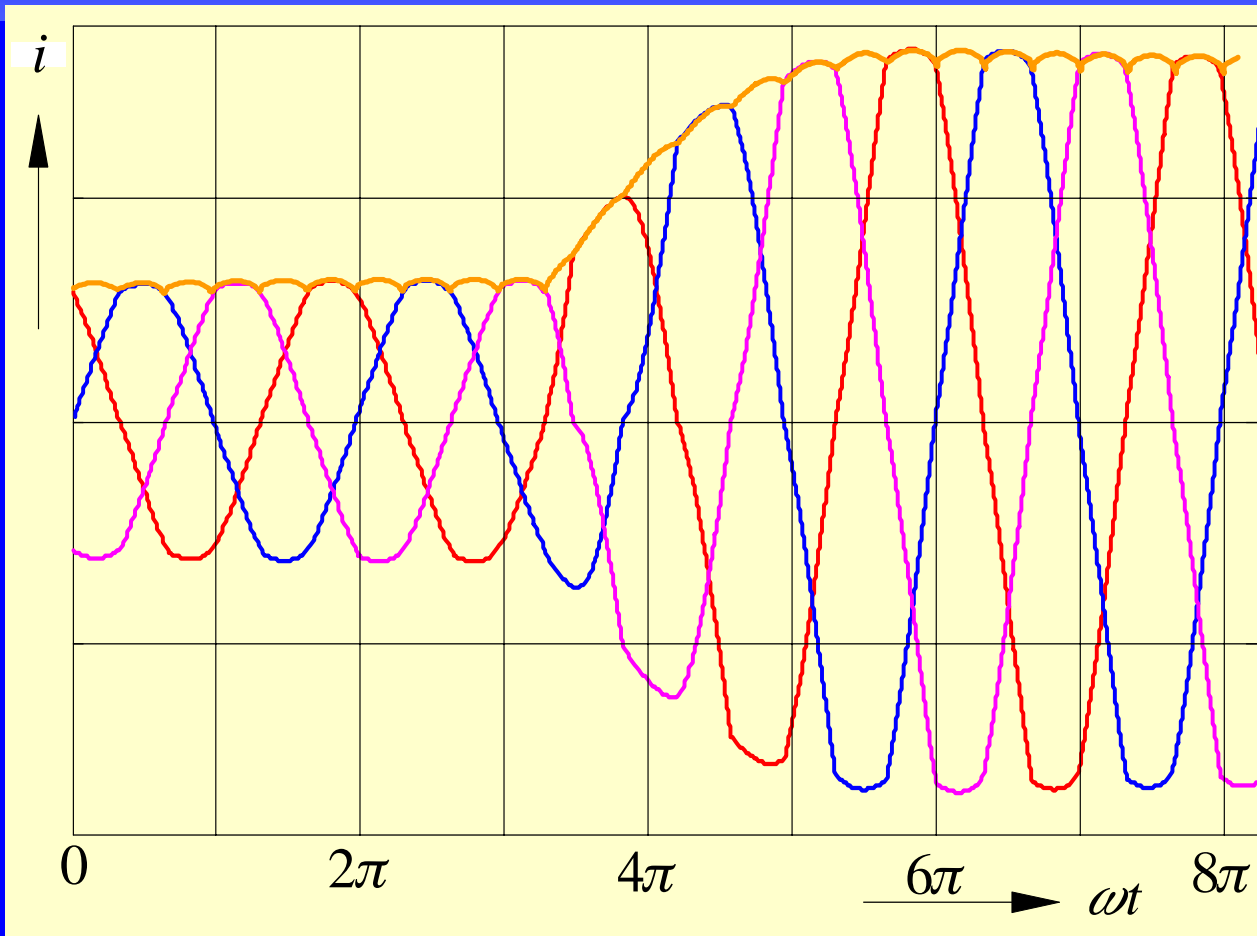
Selbsttätige Kurzschlußstrombegrenzung durch die Gleichstromdrossel - I



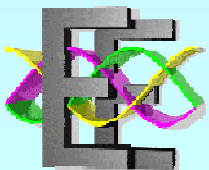
Kleine Induktivität
der Gleichstromdrossel



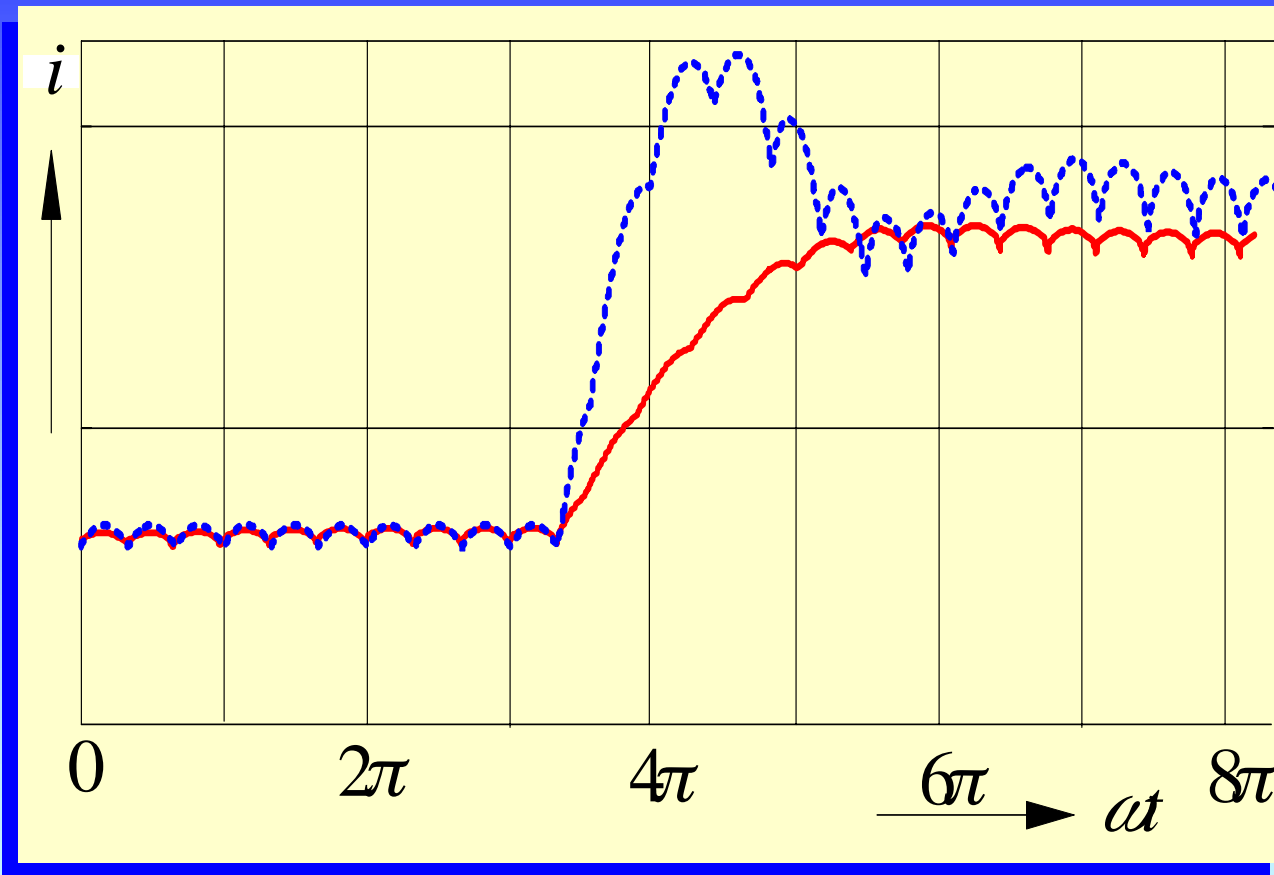
Selbsttätige Kurzschlußstrombegrenzung durch die Gleichstromdrossel - II



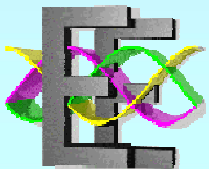
Große Induktivität
der Gleichstromdrossel



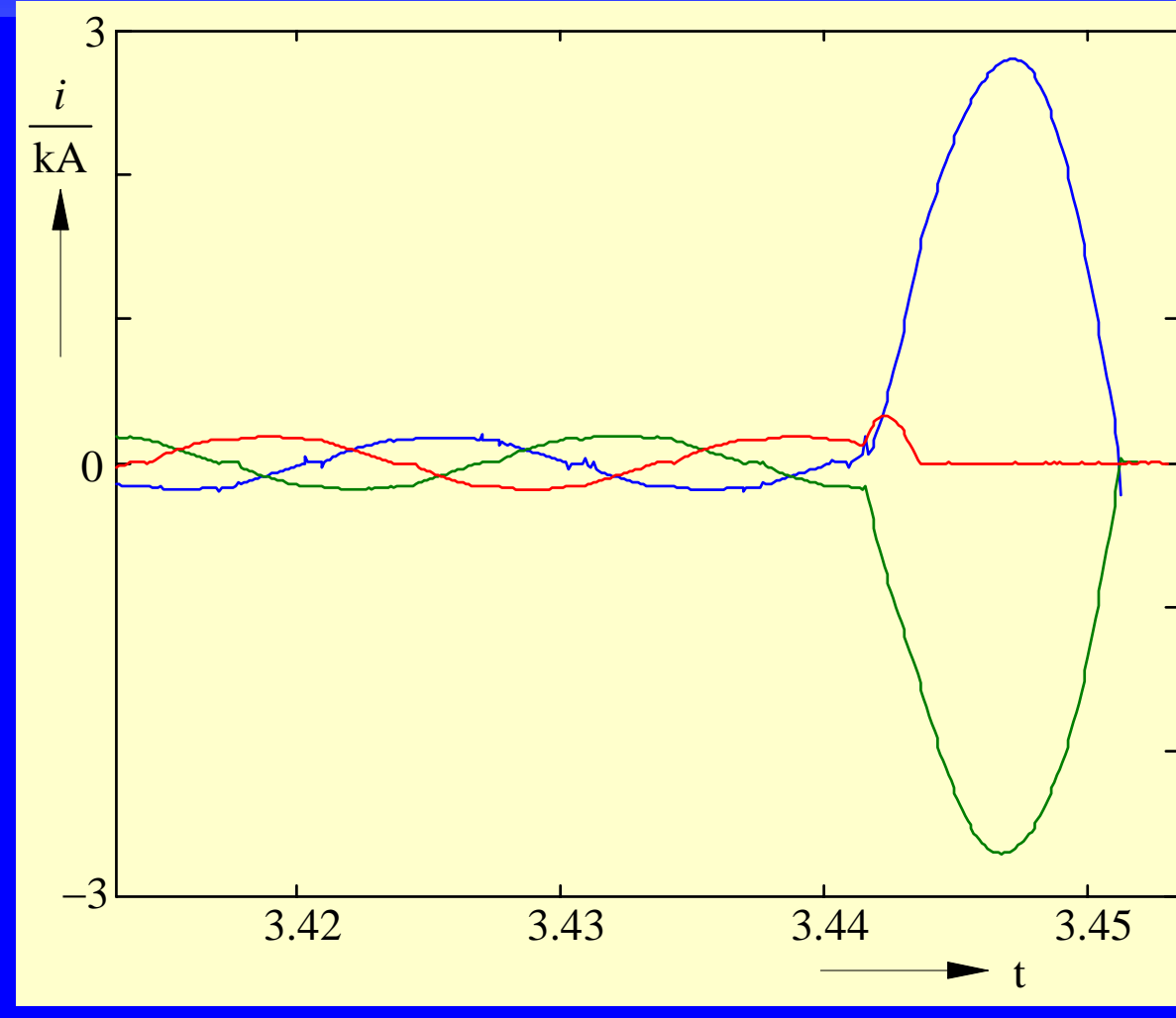
Selbsttätige Kurzschlußstrombegrenzung durch die Gleichstromdrossel - III



Gleichströme im Vergleich

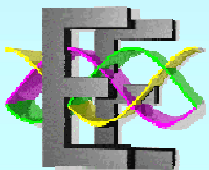


Kurzschlußausschaltung mit der Stromrichter-KSBE

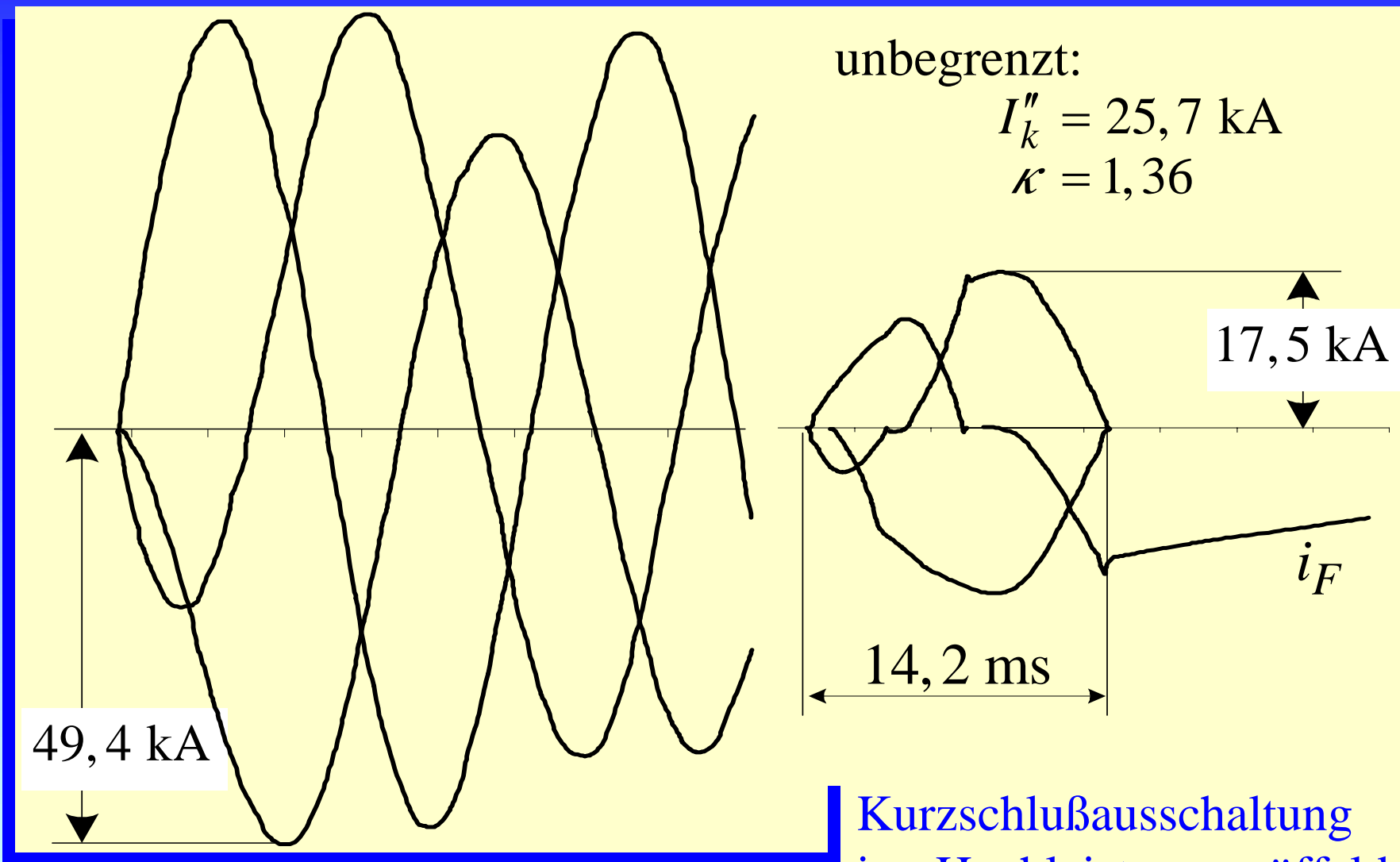


Zündimpulssperre
unmittelbar nach
Kurzschlußeintritt

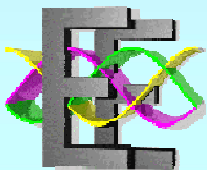
Oszillogramm
aus einer
Versuchsanlage



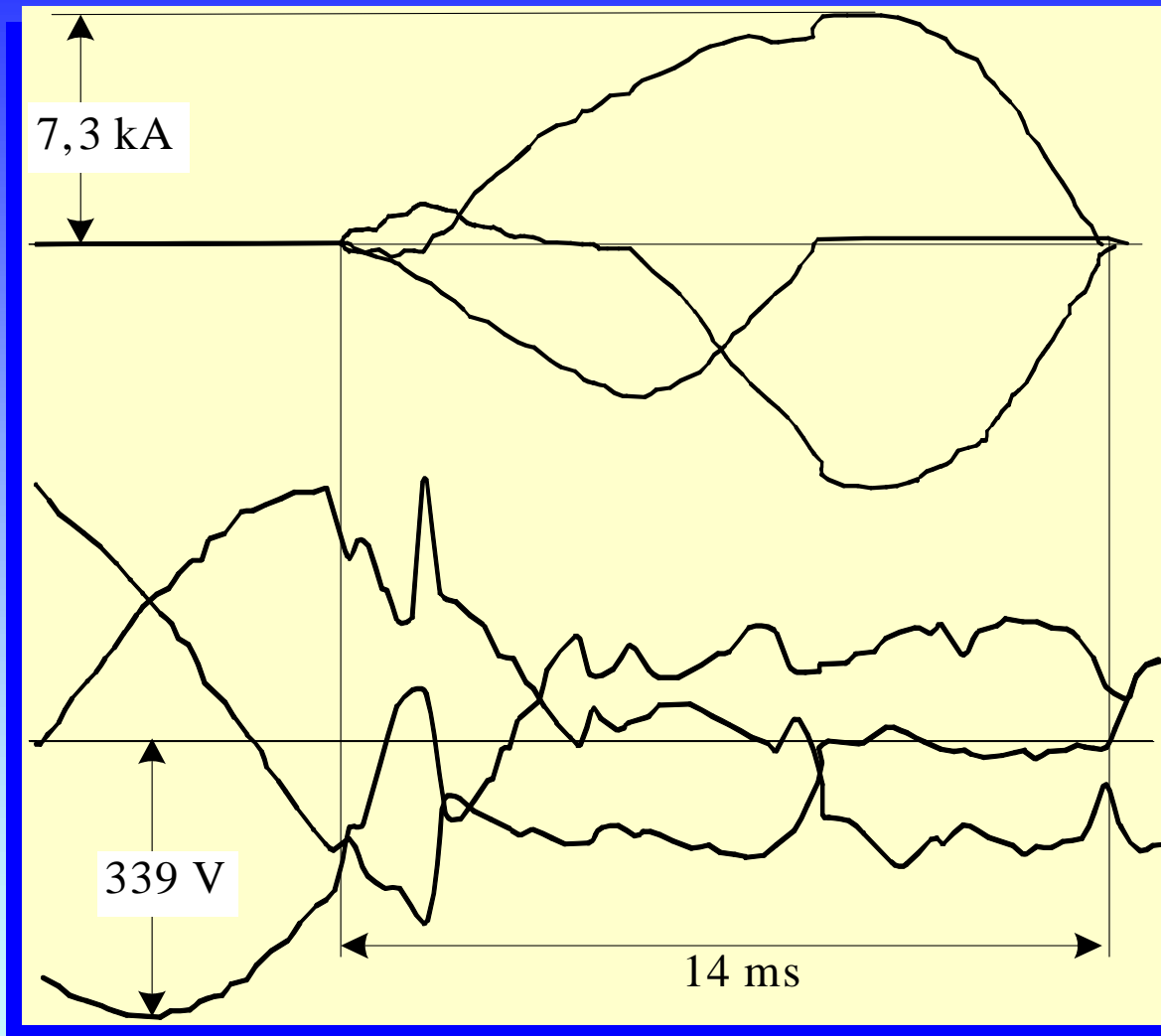
Kurzschlußausschaltung mit der Stromrichter-KSBE



Kurzschlußausschaltung
im Hochleistungsprüffeld



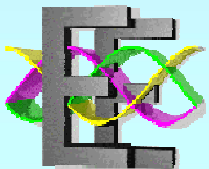
Störlichtbogenkurzschluß mit Stromrichter-KSBE



Leiterströme

Leiter-Erde-Spannungen

Störlichtbogen
ausschaltung

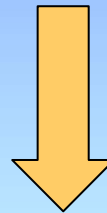


Kurzschlußstrombegrenzung & Selektivität

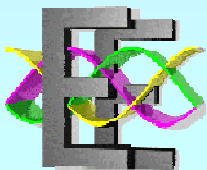
Konventioneller Kurzschlußschutz: **Selektivität zu Lasten der Beanspruchung**

Kurzschlußstrom-
beanspruchung $\xleftrightarrow[\text{Kennlinienstaffelung}]{\text{Zeitstaffelung}}$ Selektivität

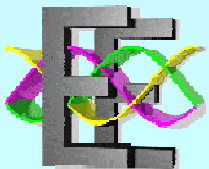
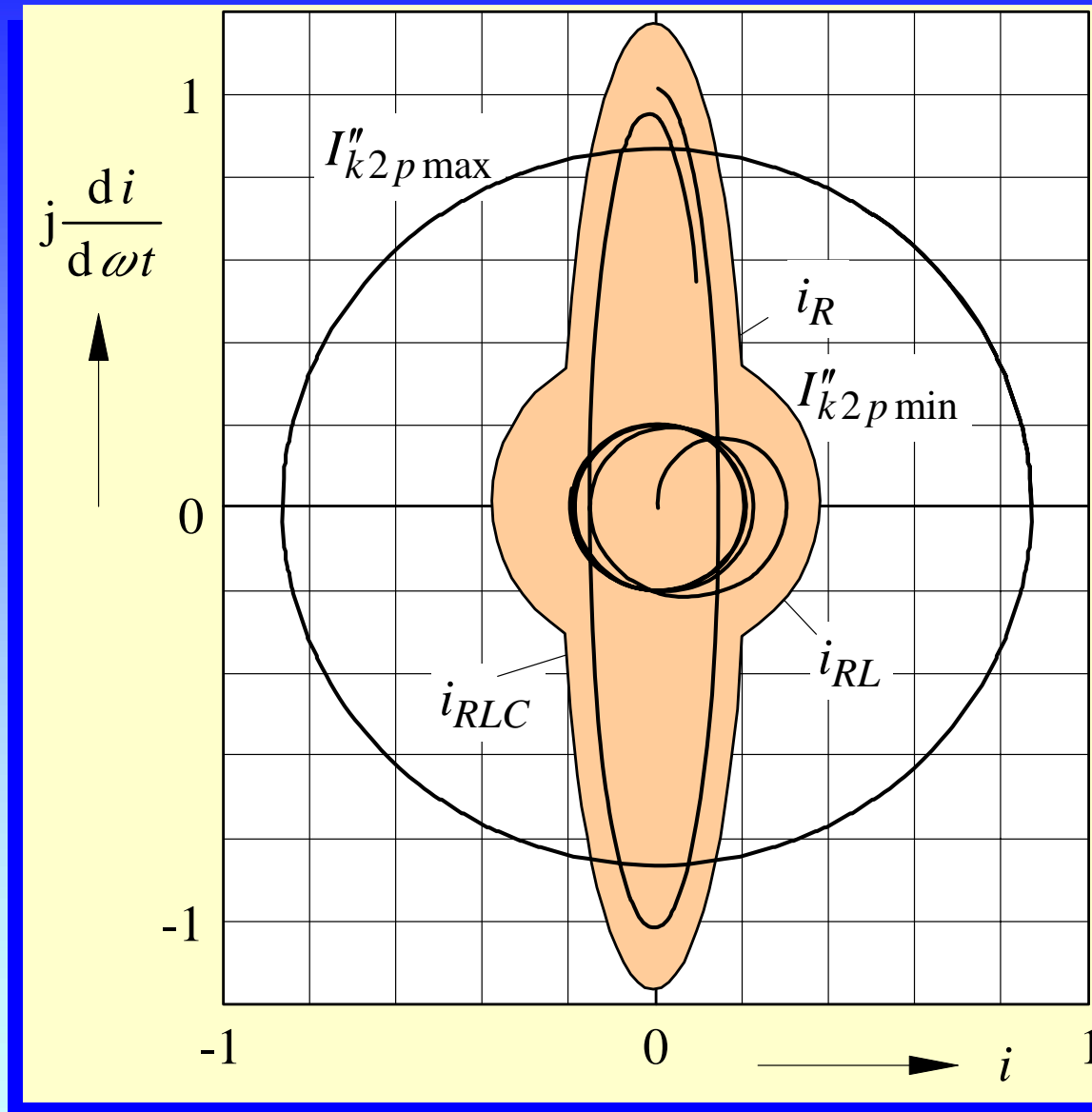
Kurzschlußstrombegrenzung: **Senkung der Beanspruchung hat Priorität**



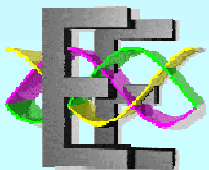
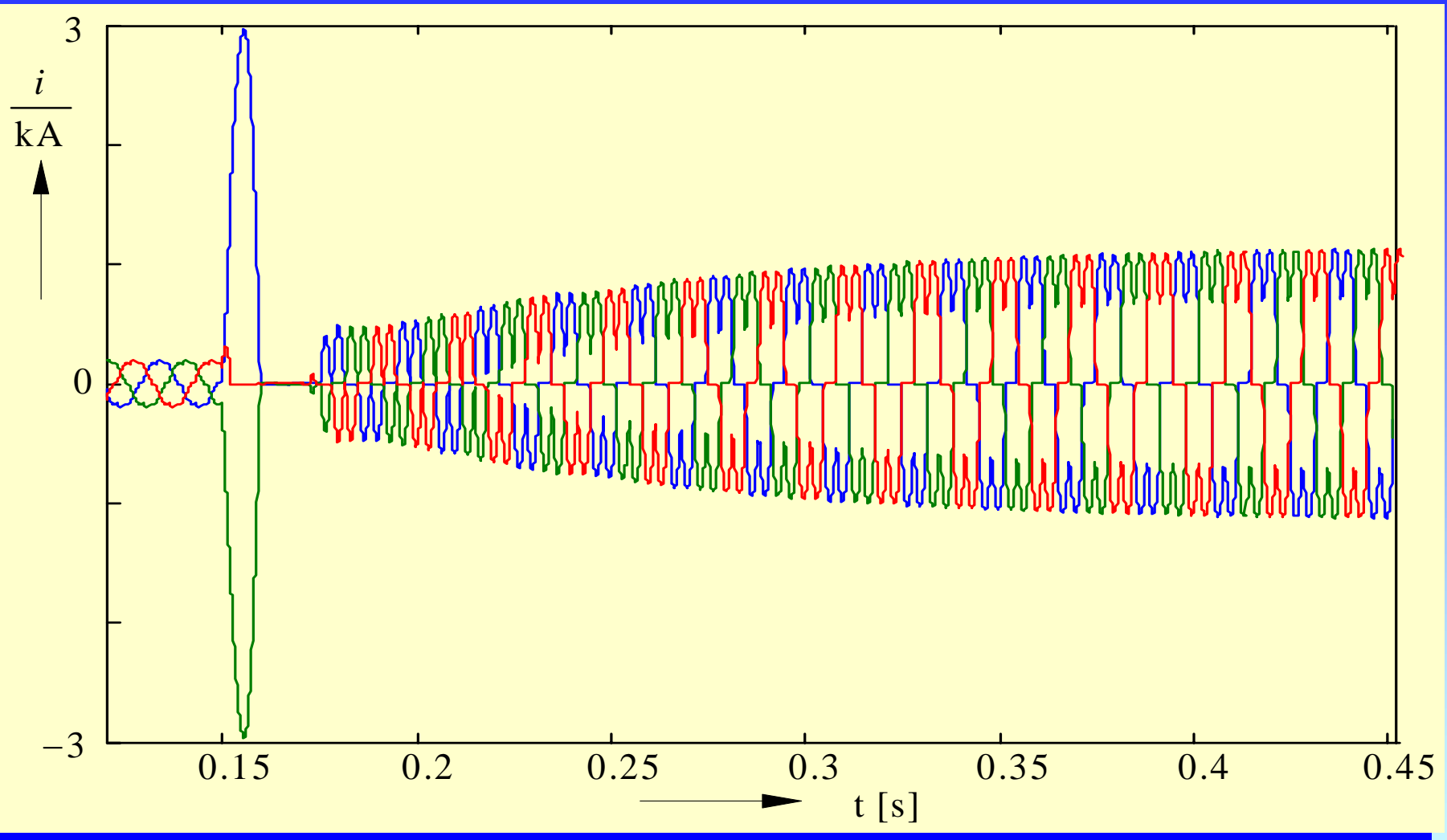
Staffelung nicht
direkt anwendbar \Rightarrow **Kompatibilität zum
konv. Schutz**



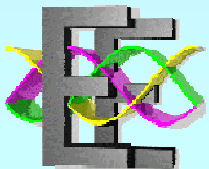
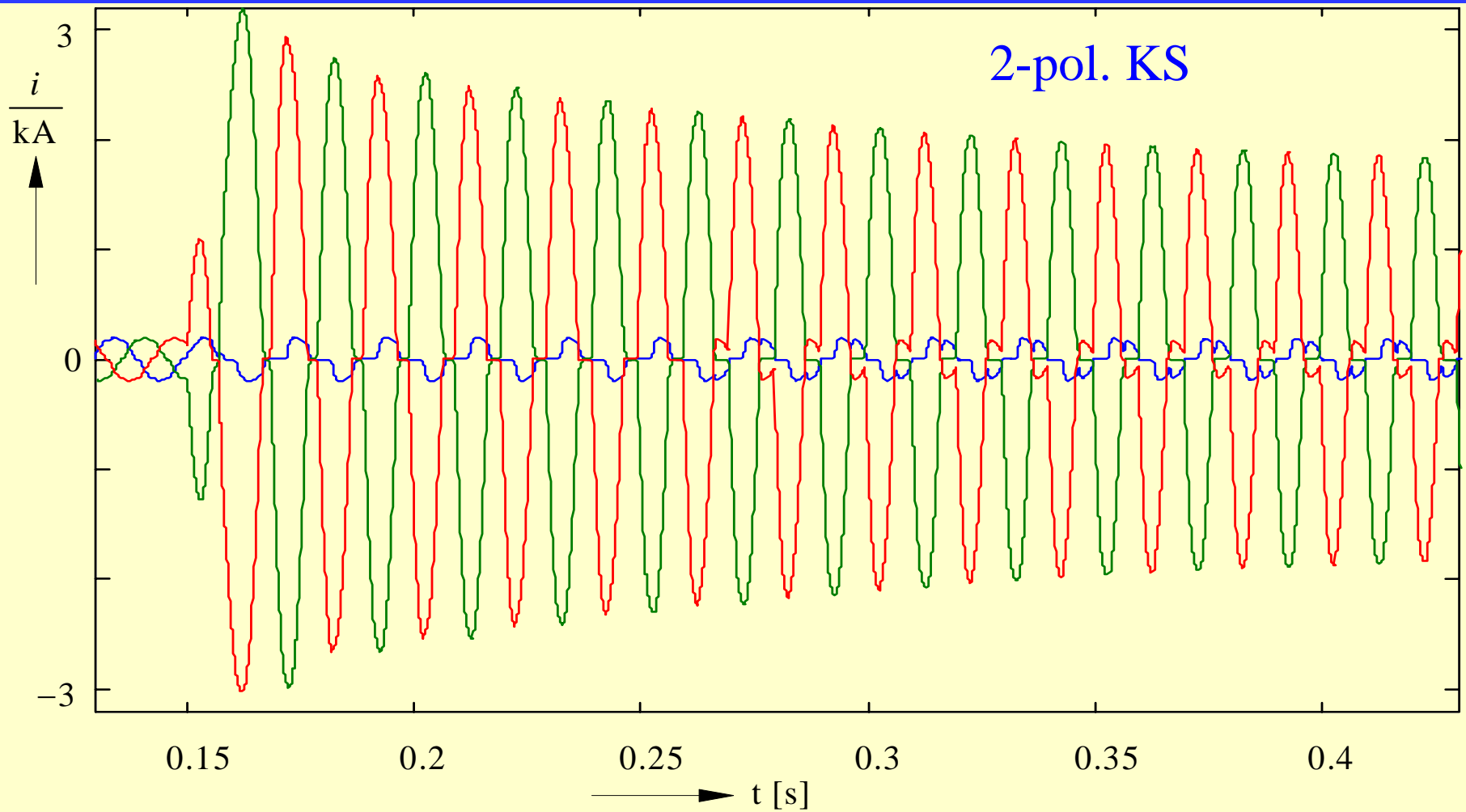
Kurzschlußstrombegrenzung & Fehlerkriterien



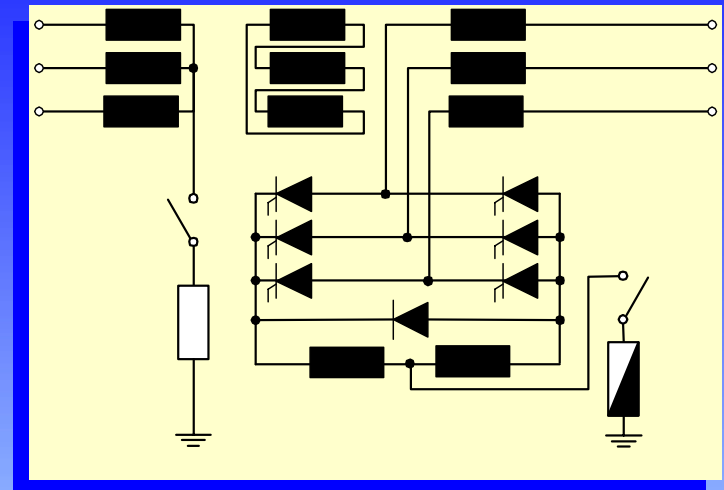
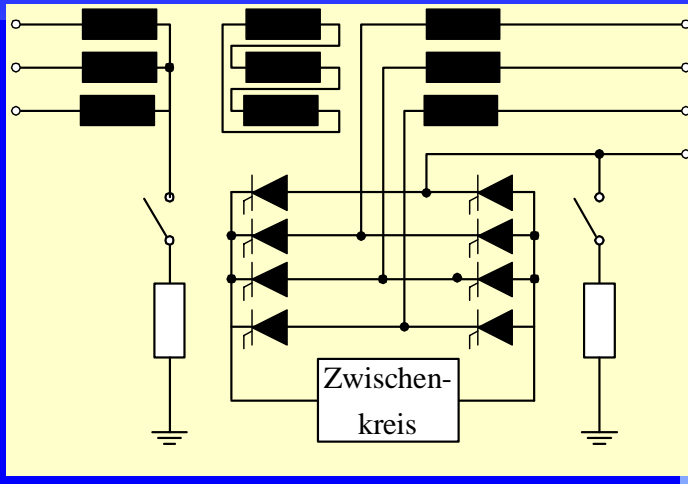
Kurzschlußstromregelung – bottom-up



Kurzschlußstromregelung –top-down

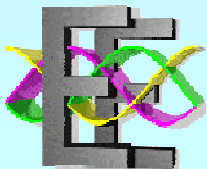


Stromrichter-KSBE und Sternpunktterdung

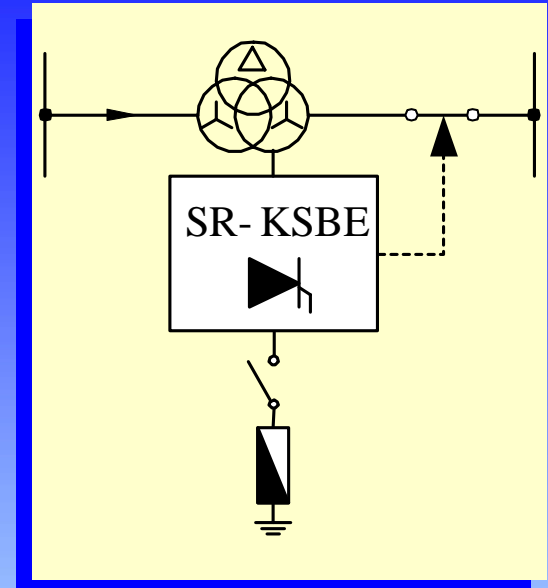
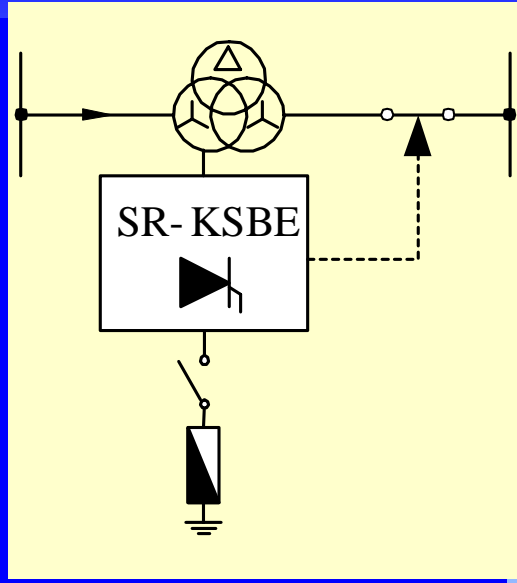


Die Stromrichter-KSBE mit vier Brückenzeigen schränkt die Sternpunktterdung von Transformatoren nicht ein. Sie kann in jedem zugänglichen Transformator-Sternpunkt angeschlossen werden

Der Gleichstrom-Zwischenkreis mit Mittelanzapfung ermöglicht die Sternpunktterdung einfacher, die Rückwirkungen auf den Fehlerstrom sind jedoch größer. Deshalb sollte diese Variante nur bei mittelbarer Sternpunktterdung (Erdschlußkompensation, NOSPE) zur Anwendung kommen



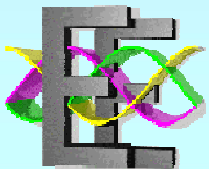
Stromrichter-KSBE im Transformator-Sternpunkt



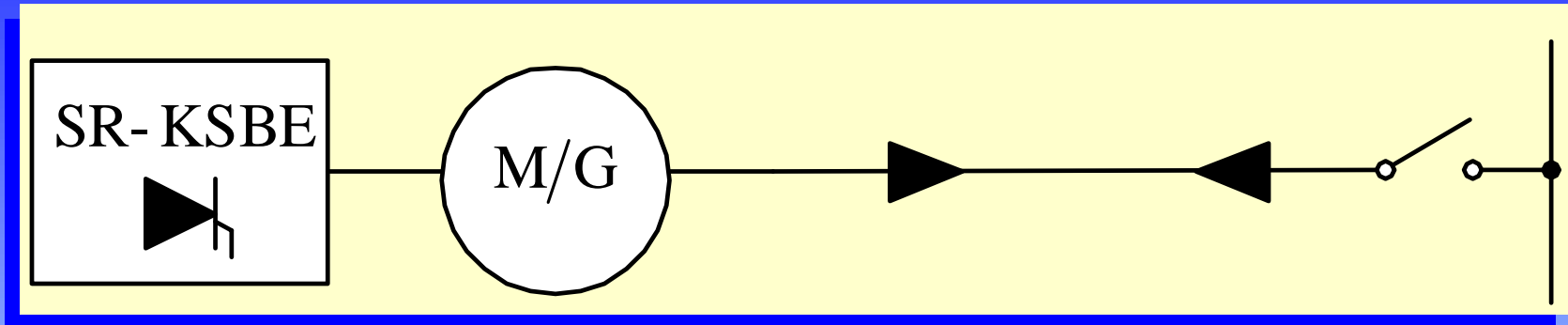
Die Stromrichter-KSBE kann sowohl im primären als auch im sekundären Transformator-Sternpunkt angeschlossen werden.

Die Stromrichter-KSBE übernimmt die Funktion des Leistungsschalters auf der Sekundärseite des Transformators mit. Dort wird nur ein (modifizierter) Trenner benötigt.

Bei Anschluß der Stromrichter-KSBE im primären Sternpunkt kann der Transformator ohne Rush-Effekt synchron eingeschaltet werden.



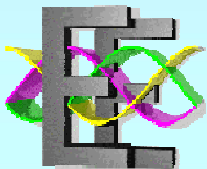
Stromrichter-KSBE im Sternpunkt von Drehstrom-Motoren oder Generatoren



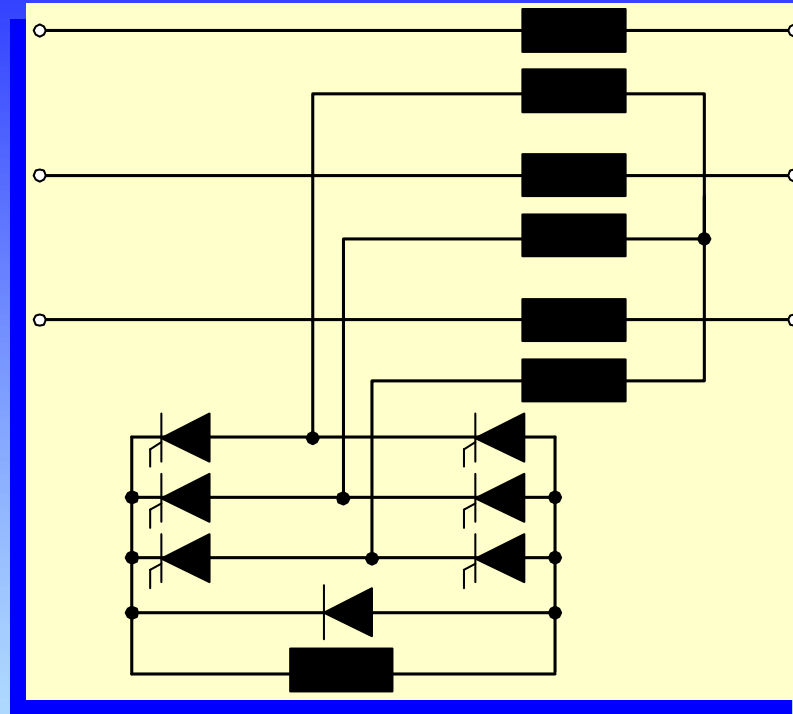
Die Stromrichter-KSBE kann den Kurzschlußstrombeitrag von Drehstrom-Motoren oder Generatoren begrenzen

Sie unterdrückt (auch ungesteuert als Diodenbrücke) den transienten Gleichanteil des Anlaufstromes von Asynchronmotoren und verbessert so die Anlaufbedingungen

In der gesteuerten Variante erlaubt sie ein synchrones Einschalten von Asynchronmotoren und ggf. (Untersuchungsbedarf) die Steuerung des gesamten Anlaufvorganges. Als Abgangsschalter reicht ein (modifizierter) Trenner aus.



Kupplung von zwei Netzen über Stromrichter-KSBE



Die Stromrichter-KSBE ist als Kupplung zwischen zwei Sammelschienen-Abschnitten (zwei Netzen) prinzipiell einsetzbar, kann in dieser Variante ihre Vorteile jedoch nicht in vollem Umfang entfalten.

