

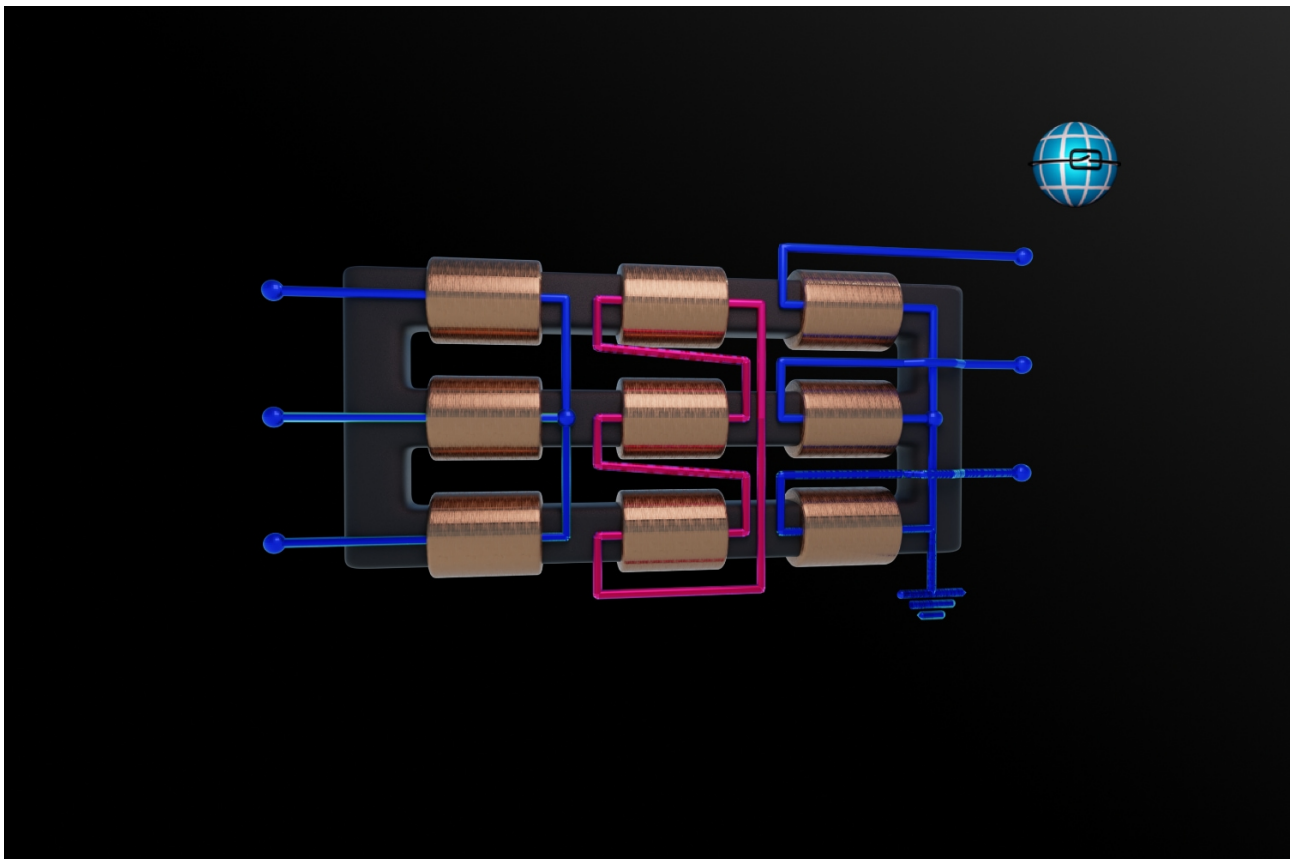


Warum Ausgleichswicklung am Transformator?

... und wie funktioniert das eigentlich?

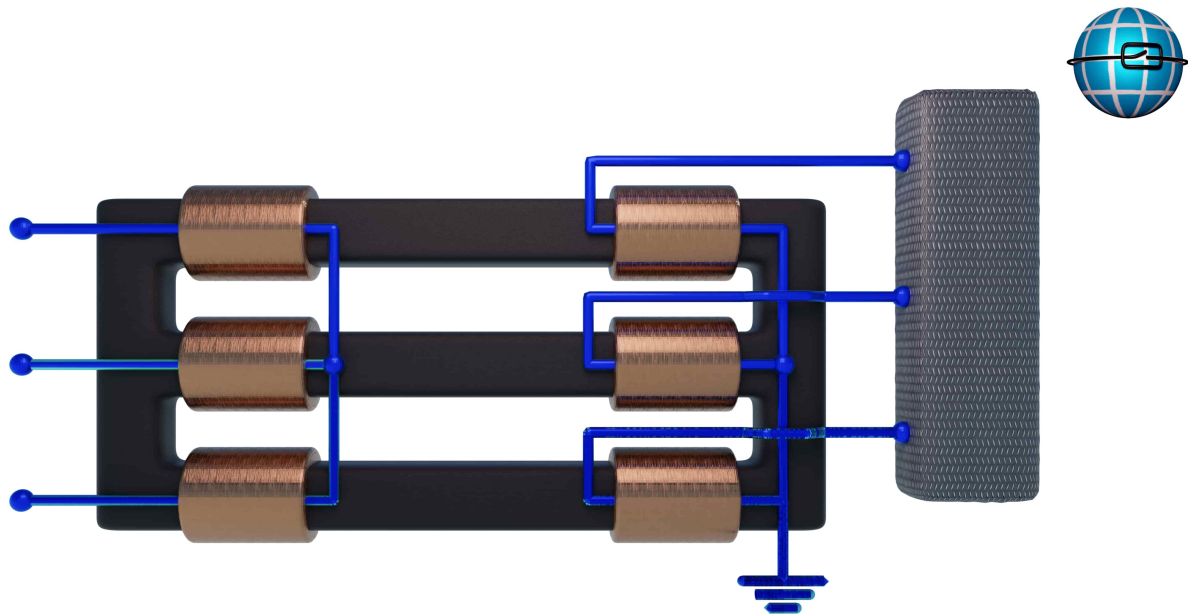
HERZlich Willkommen, liebe Freunde der Schutz-, Leit- und Elektrotechnik. Typische Netzkuppeltransformatoren besitzen eine dritte Wicklung, welche auch als Tertiärwicklung bezeichnet wird. Diese wird im kurzgeschlossenen Dreieck betrieben und hat auf den ersten Blick keine wirkliche Funktion. In unserem heutigen Beitrag klären wir, warum es Ausgleichswicklungen an Transformatoren gibt und wie diese grundsätzlich funktionieren.

Viel Spaß beim Lesen und los geht's!

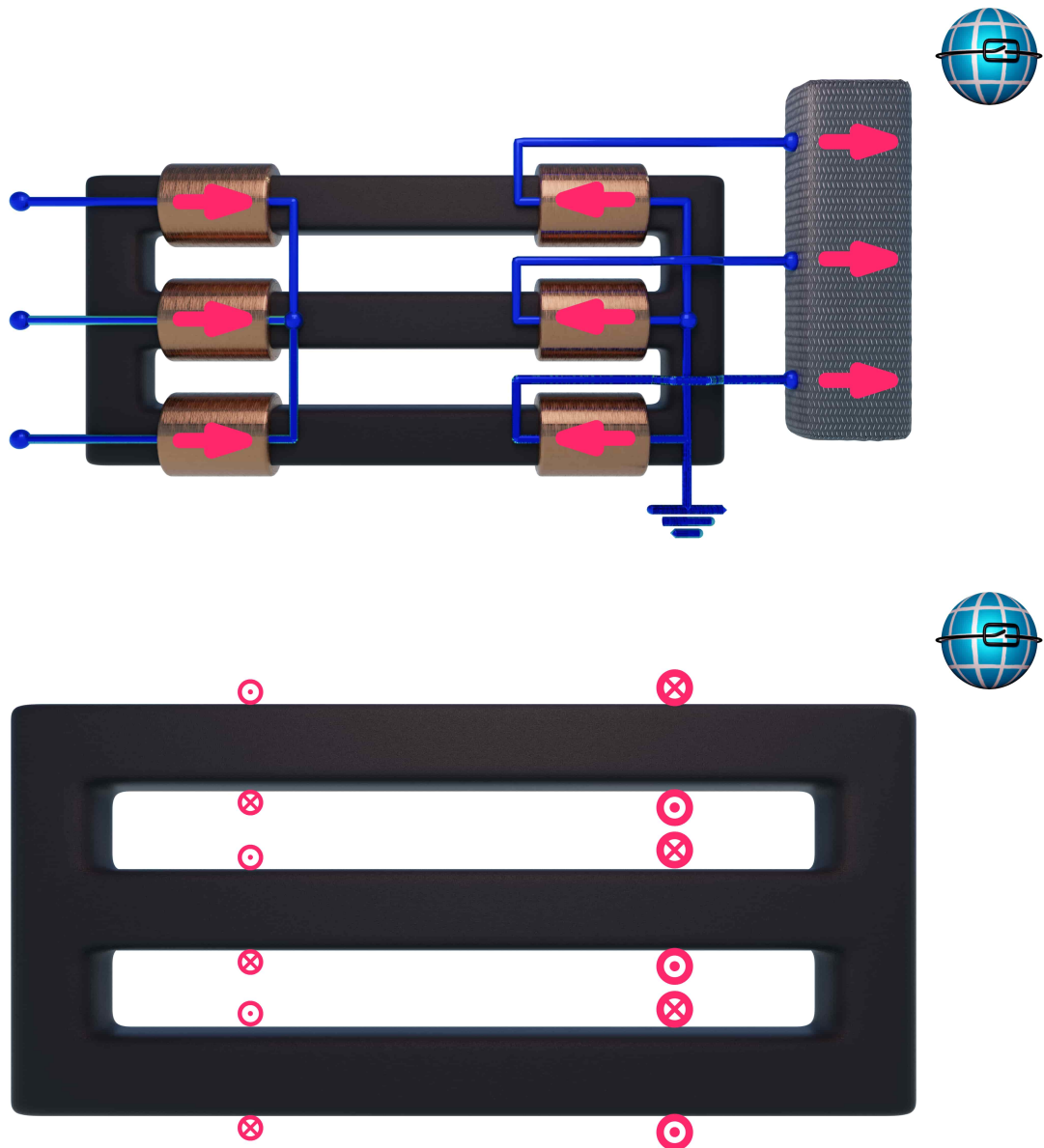


Wo liegt das Problem?

Wenn wir das Problem kennen, welches es zu beseitigen gilt, können wir uns wesentlich einfacher mit der existierenden Lösung anfreunden, als wenn wir das Pferd von hinten aufzäumen würden. Aus diesem Grund betrachten wir im folgenden einen Drehstromtransformator ohne Ausgleichswicklung. Dieser soll die Schaltgruppe Yyn0 besitzen und auf der Sekundärseite starr geerdet sein.



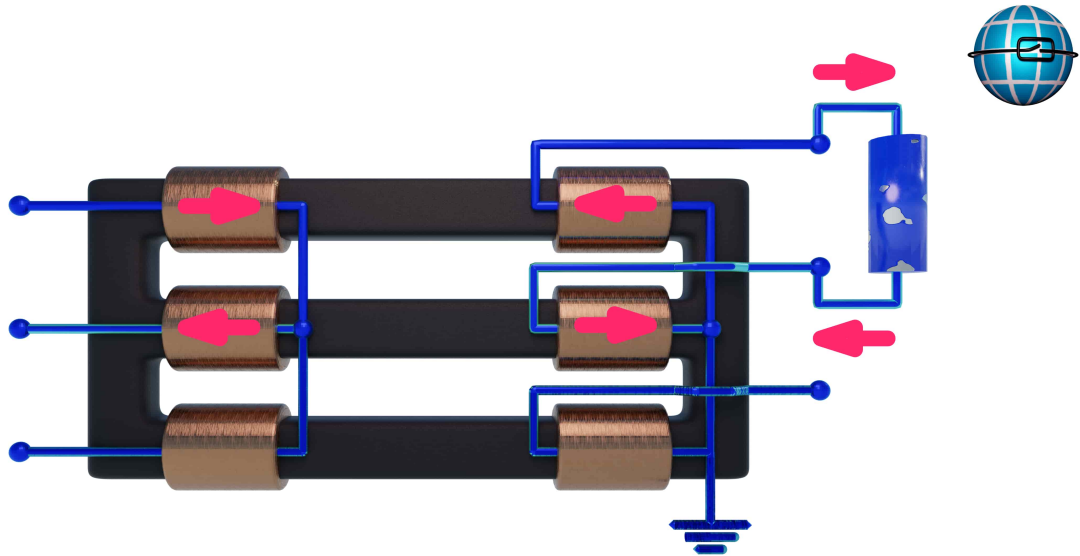
Wird dieser Drehstrom-Transformator nun symmetrisch belastet, verhält er sich wie 3 einphasige Wechselstrom-Transformatoren und wir können uns auf eine einphasige Betrachtung beschränken. Die Durchflutung der Schenkel ist im Gleichgewicht, und jeder sekundären Durchflutung steht eine kompensierende Gegendurchflutung auf der Primärseite des Transformators entgegen. Auf der Ebene der symmetrischen Komponenten ist ein reines Mitsystem zu beobachten, während Gegen- und Nullsystem nicht existieren. Dieser Zustand wird theoretisch erreicht, wenn wir einen idealisierten Lastfluss mit exakt gleichen Stromamplituden und symmetrische Phasenwinkel von 120° voraussetzen.



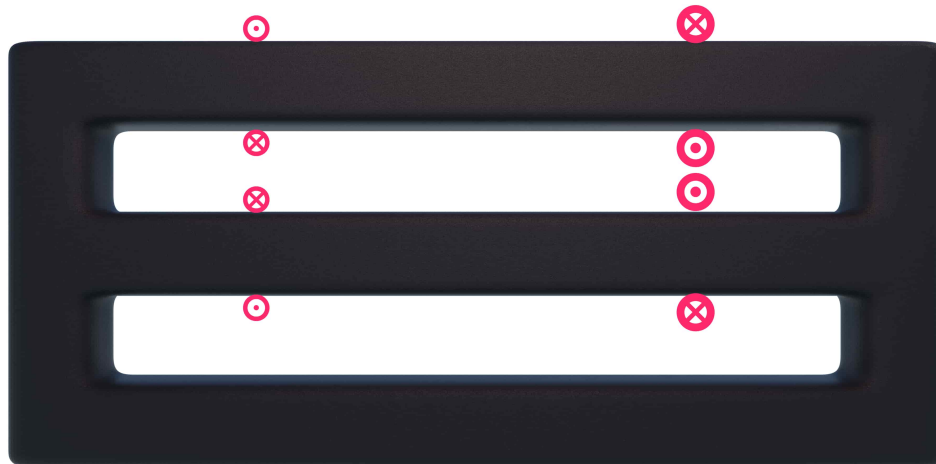
In der Praxis treten nicht nur diese idealisierten Symmetriezustände ein, sondern es kommt auch zu unsymmetrischen Belastungen, welche auch als Schiefasten bezeichnet werden und immer mit der Existenz eines Gegensystems daher kommen. Darüber hinaus führen bestimmte Kurzschlussarten, wie zum Beispiel der einpolige Erdkurzschluss, zu einsträngigen Belastungen der geerdeten Sternschaltung. Bleiben wir bei dem Fall ungleichmäßiger Lastverteilungen und stellen nun die unterschiedlichen Belastungsvarianten gegenüber.

Ausfall einer Phase

Im ersten Fall wollen wir den Ausfall einer Phase betrachten. Belasten wir also die Sekundärseite des Transformators zwischen Phase 1 und Phase 2 zweiphasig, während die 3. Phase nicht beschaltet bzw. unterbrochen ist.

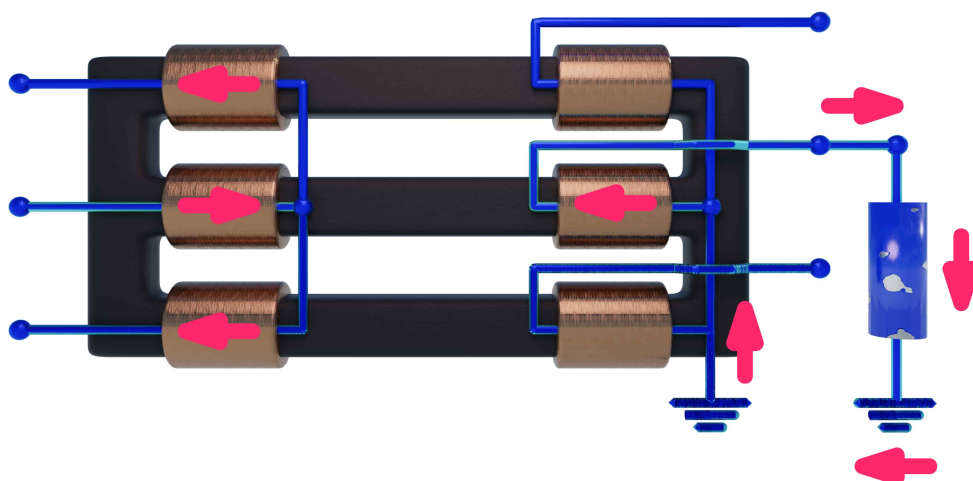


Wenn wir nun die Ströme betrachten stellen wir fest, dass in Phase 3 weder die Primär- noch die Sekundärwicklung durchflossen wird. Phase 1 und Phase 2 hingegen sind, bis auf die Richtungsumkehr in Phase 2, unverändert mit ihren zwischen Primär- und Sekundärseite entgegengesetzten Stromflüssen belastet. Für unsere magnetische Masche, welche die Schenkeldurchflutungen des Transformator-kerns abbildet folgt dementsprechend, dass keine Störung des Durchflutungsgleichgewichts vorliegt, da die beiden Durchflutungen auf der Sekundärseite wieder ihren Gegenpart auf der Primärseite finden. Der Ausfall einer Phase stellt für den Trafo also kein Problem dar und die hier gezeigte zweisträngige Belastung, kann ebenfalls als symmetrischer Betriebspunkt angesehen werden.

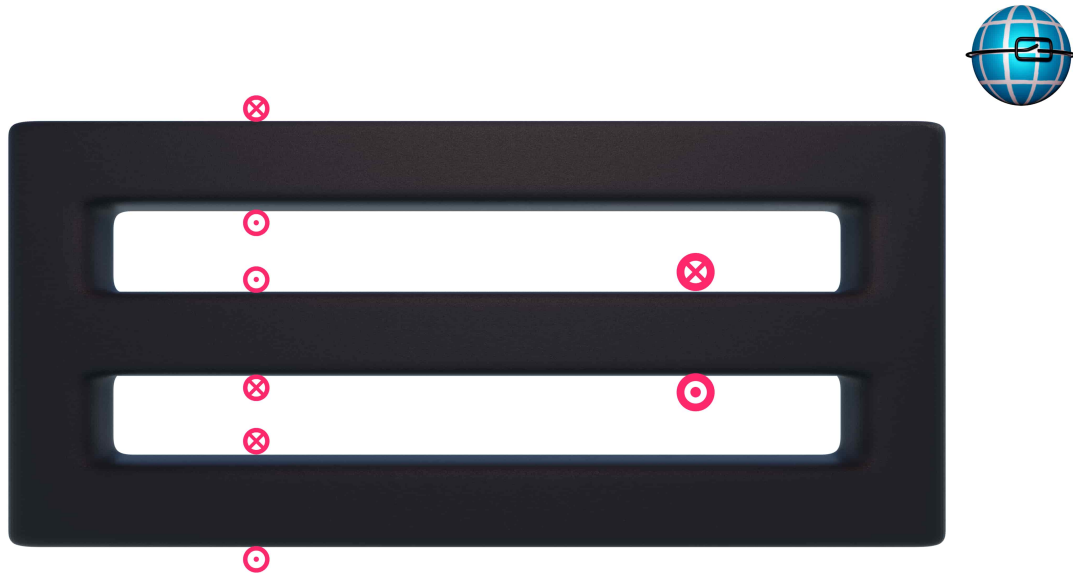


Einphasige Belastung der Sternschaltung

Anders verhält es sich hingegen, wenn wir von einer einphasig belasteten Sternschaltung ausgehen. In der folgenden Abbildung soll nur Phase 2 belastet werden. Daraus resultierend gibt es sekundärseitig keinen Stromfluss in den Phasen 1 und 3. Da es auf der Primärseite des Transformators keine wirksame Sternpunkterdung gibt, kann sich überspannungsseitig kein Strom im Nullsystem ausbilden und folglich können auch keine vollständig kompensierenden Gegendurchflutungen in den Schenkeln erzeugt werden. Vielmehr erfolgt eine zwangsläufige Aufteilung und jede der drei überspannungsseitigen Phasen führt nun einen Strom. Dabei führen die Phasen 1 und 3 in etwa $\frac{1}{3}$ des auf die Überspannungsseite bezogenen Sekundärstroms. Phase 2 führt einen Strom von $\frac{2}{3}$ des bezogenen Sekundärstroms und es verbleibt ein unkompensierter Anteil von $\frac{1}{3}$.



Die Schenkeldurchflutungen des Transformator-kerns kompensieren sich also nicht mehr zu Null und es liegt eine Störung des Durchflutungsgleichgewichts vor. Die Nullströme würden nun gleichgerichtete Magnetflüsse auf den Schenkeln des Kerns verursachen, deren Feldlinien sich nicht mehr innerhalb des Kerns schließen können. Es kommt bei Sternpunktbelastung zu einer Nullpunktverschiebung und der Betrieb des Transformators ist so nicht möglich.

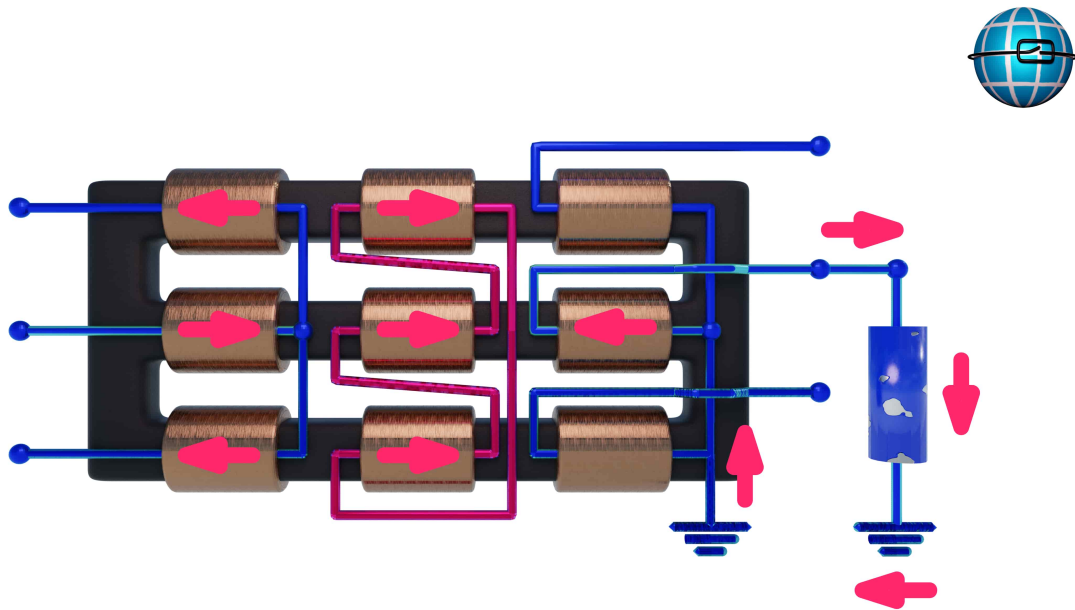


Wir merken uns also: „Ein Yyn-Transformator ist nicht für die Verbindung von nichtwirksam geerdeten Netzen mit wirksamen geerdeten Netzen geeignet.“

Zusatzbetrachtung: Hätten wir die Oberspannungsseite des Transformators ebenfalls starr geerdet, dann würde der Transformator alle Ströme und Spannungen phasenrichtig und gemäß seinem Übersetzungsverhältnis übertragen. Dies gilt auch für alle Nullsystemströme und dementsprechend für die einphasige Belastung einer Sternschaltung. Da es nicht erwünscht ist Schiefast und Unsymmetrie auf angrenzende Netze zu übertragen, müssen wir nach einer Lösung suchen.

Die Ausgleichswicklung

Betrachten wir nun den selben Transformator mit einer zusätzlichen Tertiärwicklung und gehen weiterhin von unserer einphasigen Belastungsvariante aus. Die Tertiärwicklung ist in Dreieck geschaltet und kurzgeschlossen und wirkt als Ausgleichswicklung. Auf Ebene der symmetrischen Komponenten fügen wir dem Transformator mit der Ausgleichswicklung ein niederohmig wirksames Nullsystem hinzu. Der im vorigen Beispiel unkompensierte



Stromanteil von $\frac{1}{3}$ des übertragenen Sekundärstroms, kann nun in Form eines Kreisstroms in der kurzgeschlossenen Dreiecks-Ausgleichswicklung fließen.

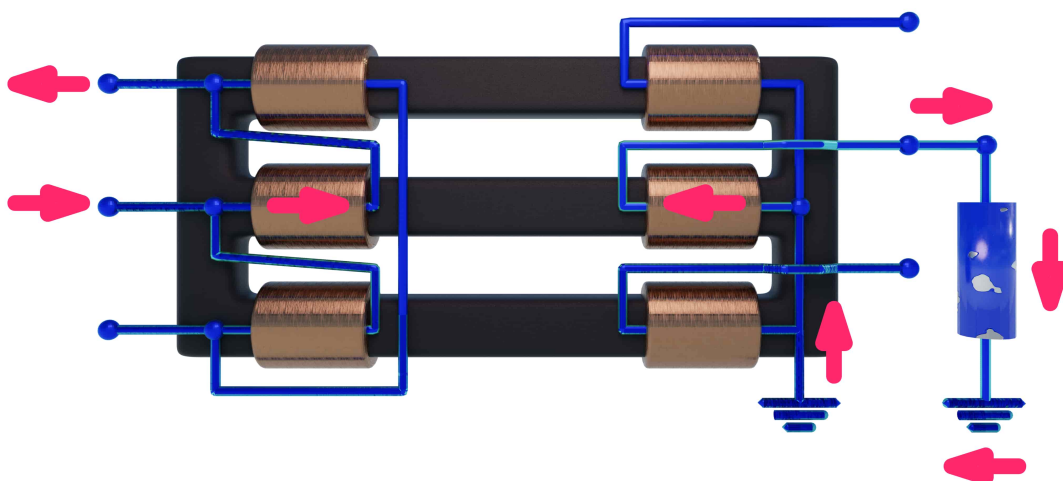
Um den Zusammenhang verstehen zu können, untersuchen wir die Durchflutungen der drei Schenkel. Die Durchflutung des mittleren Schenkels wird durch den sekundären Laststrom in Phase 2 geprägt. Damit das Gleichgewicht gewahrt werden kann, muss dementsprechend eine Gegendurchflutung im selben Schenkel existieren. Dies ist nun möglich, da die im Kurzschluss geschaltete Ausgleichswicklung einen permanent kompensierenden Kreisstrom führt. Der Kreisstrom wiederum erzeugt eine Zusatzdurchflutung in den Schenkeln von Phase 1 und Phase 3.



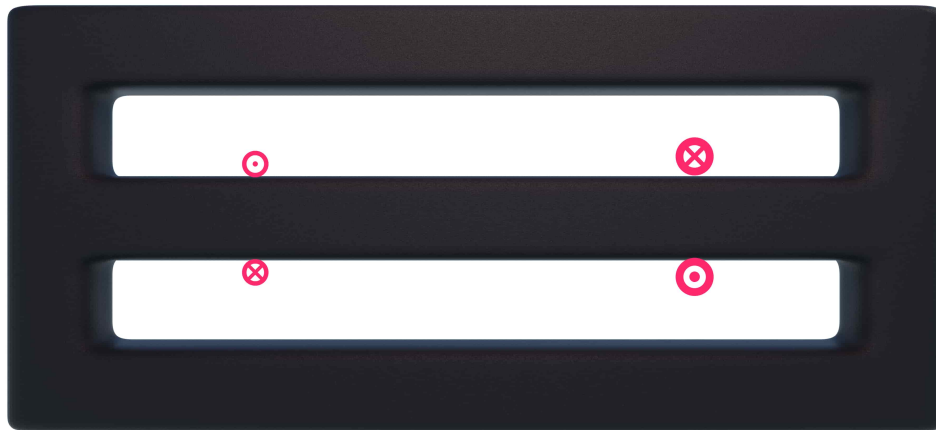
Die Nullpunktverschiebung wird vermieden und die Belastung des Sternpunktes eines Yyn-Trafos ist bei vorhandener Ausgleichswicklung zulässig.

Dreieck-Sternschaltung

Im letzten Beispiel schauen wir uns noch die Übertragung einer einphasigen Last über einen Transformator in Dreieck-Sternschaltung an.



Die Abbildung zeigt, dass eine Sternpunktbelastung zu keiner Störung des magnetischen Gleichgewichtes führen kann, da die tatsächlich belasteten Phasen primärseitig analoge Ströme führen. Die Dreieck-Sternschaltung führt dementsprechend ebenfalls zu keiner Nullpunktverschiebung und bietet damit volle Nullpunktbelastbarkeit.



Fazit

Eine Dreiecks-Ausgleichswicklung, welche auch als Tertiärwicklung bezeichnet wird, dient der Herstellung der vollen Nullpunktbelastbarkeit von Yyn-Transformatoren, indem sie der Transformatorschaltung ein kurzgeschlossenes Nullsystem hinzufügt. Das Nullsystem der geerdeten Sternseite wird nicht auf die nichtwirksam geerdete Sternseite übertragen. In Analogie wird das Nullsystem auf der Sternseite eines Transformators in Stern-Dreieck-Schaltung ebenfalls nicht auf die Dreiecksseite übersetzt, auch hier kommt es zu keiner Nullpunktverschiebung und der Sternpunkt kann voll belastet werden.

HERZlichen Dank, viel Erfolg und bis bald.

Euer SCHUTZTECHNIK-TEAM

