Wechselstromnetz – Gleichtakt ist wichtig

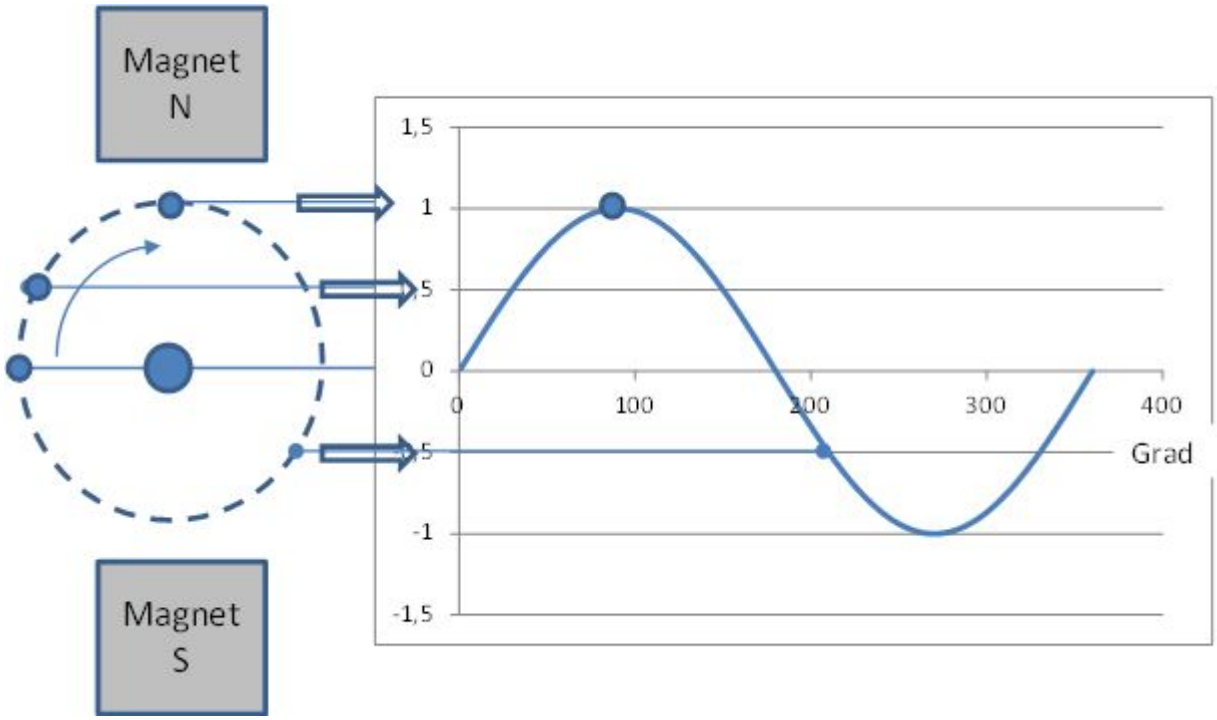
Auf der letzten Eike Konferenz in München (ach, schon wieder so lange her) und im privaten, bin ich wieder danach gefragt worden. Daher habe ich eine Basis für unsere Leser mit Fachwissen auf anderen Gebieten zusammengestellt.

> Die Fachleute unter unseren Lesern sind hier nicht angesprochen. Diese Leser finden unter den u.g. Links fachlich tiefergehende Informationen. Wer kommentieren möchte, bitte schreiben Sie genau, was Sie meinen und wie Sie es ausdrücken würden, damit die o.g. Gruppe unserer Leser es besser versteht. Pauschale Kritik fällt auf den Kommentator zurück.

Wie entsteht Wechselspannung?

Zwischen den Polen eines Magneten dreht sich ein Leiter.

Durch die Bewegung in dem magnetischen Feld, wird in dem Leiter (Draht) eine Spannung induziert. Ist die Drahtschleife geschlossen, so fließt ein Strom, der periodisch zu- und abnimmt. Steht die Leiterschleife gerade unter einem Pol, ist die Spannung (der Strom) am größten, steht die Leiterschleife zwischen den Polen – in der neutralen Zone- wird keine Spannung induziert, durch die weitere Bewegung ändert die Spannung (der Strom) ihre Polarität (seine Richtung).



Es ist egal, ob die Leiterschleife oder der Magnet bewegt wird – die induzierte Spannung und damit der Strom, pulsiert sinusförmig.

Anwendungsbeispiele sind Generatoren die Spannung erzeugen. Der Stromkreis ist dann über den Verbraucher geschlossen (Haushalte, Industrie, Straßenbeleuchtung, Bahnen, …)

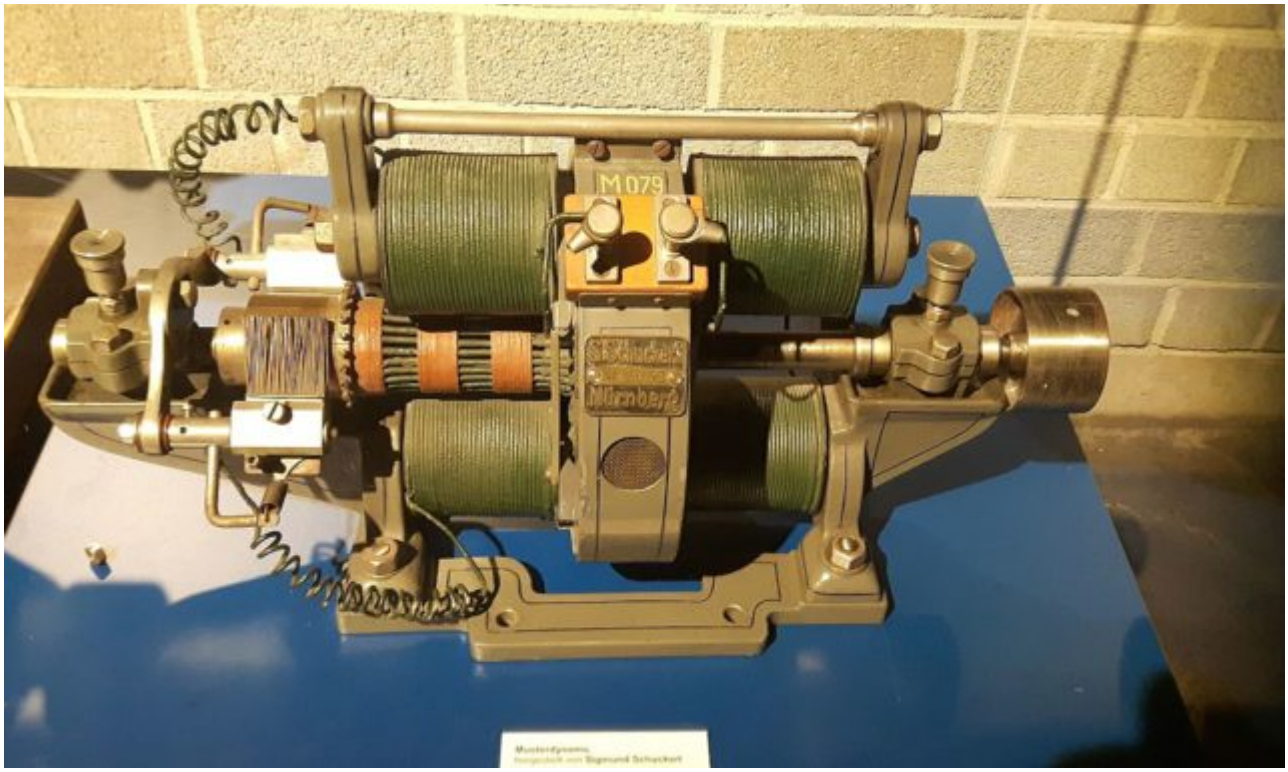
Die Bewegung des stromdurchflossenen Leiters im Generator, erzeugt selbst ein der Drehbewegung entgegengesetztes Magnetfeld – das muss der Antrieb des Generators dann als mechanische Arbeit leisten – je geringer der fließende Strom (die abgenommene Leistung) ist, umso weniger mechanische Antriebsleistung ist notwendig und umgekehrt.

Eine gute Beschreibung finden Sie hier

https://group.vattenfall.com/de/unternehmen/geschaeftsfelder/strom-gas/wie-wird-strom-erzeugt

Historische Ergänzung:

Am Anfang der Entwicklung konnte man mit „wechselndem Strom“ nicht viel anfangen. Man kannte nur Gleichstrom. Dazu baute man die Generatoren mit einem Kommutator „Stromwender“. Gut zu erkennen an diesem Generator



Demmig-Dynamo Schuckert 1881

> Ausstellungsdynamo von Sigmund Schuckert, hergestellt für die Ausstellung „L’electricè“ in Paris 1881 – Foto vom Autor, Industriemuseum Tafelwerk, Nürnberg
>
> Man sieht rechts und links die Erregerspulen (Magnetspulen), der Läufer ist im runden Mittelteil, links der Kommutator mit Kupferbürsten. Der Ausdruck „Bürste“ hat sich gehalten, auch für die später genutzten Kohlestifte.

1881 baute Werner von Siemens die erste elektrische Straßenbahn, damals mit 400 VDC Stromzuführung über die Schienen. (Prinzip Gleichstrom Modelleisenbahnen, ein Beispiel: Fleischmann)

Transformator

Ebenso, wie vorstehend beschrieben, erzeugt ein fließender Strom um einen Leiter ein Magnetfeld. Ist der Strom pulsierend, so wird in einer in einer daneben angebrachten Spule ebenfalls eine Spannung induziert. Diese Anordnung kann dann ein Trafo sein, bei dem die Wicklungen elektrisch (galvanisch) getrennt sind, aber einen gemeinsamen Kern aus zueinander isolierten Eisenblechen haben, das Joch. – die Energie wird dann durch das Magnetfeld übertragen. Die primär – sekundär Spannung wird dann im Verhältnis der jeweiligen Anzahl an Windungen herauf oder herabgesetzt.

https://www.udo-leuschner.de/basiswissen/index.htm

Motor

Grundsätzlich funktioniert ein Motor wie ein Transformator, nur dass beim Motor die sekundäre Wicklung dann der Läufer ist. Der Läufer dreht sich in einem Motor, wenn die Ständerwicklungen ein Drehfeld induzieren, quasi das

Gegenteil des oben beschriebenen Generatoreffektes. (Das war am Anfang der Entwicklung nicht sofort klar!)

Wichtige Formeln:

Mit dem Ohmschen Gesetz kann der Strom errechnet werden, der bei einer bestimmten Spannung durch einen Widerstand (-sleiter) fließt: Strom = Spannung / Widerstand,
als Formel $I = U/R$ – I in Ampere, U in Volt, R in Ohm

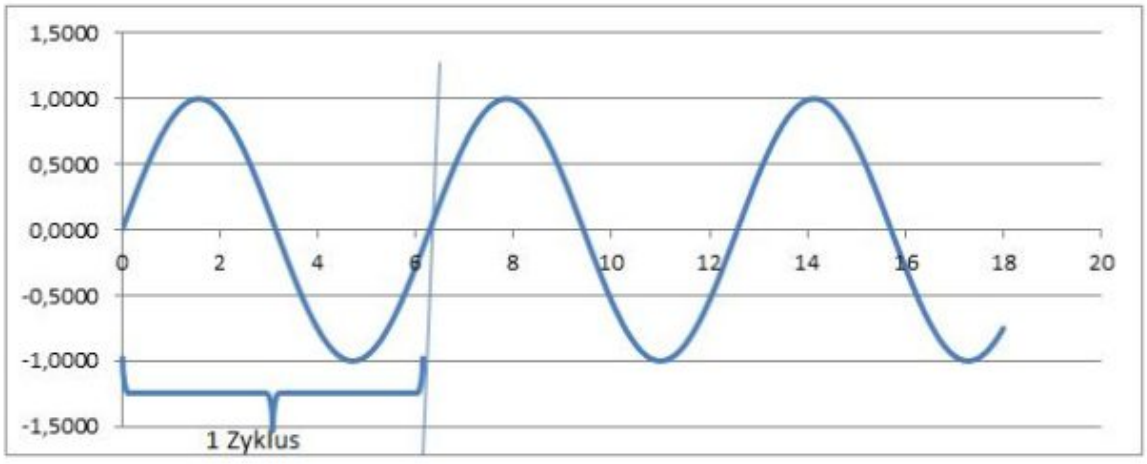
Die Leistung, die notwendig ist, um den Strom zu treiben: $P = U * I$, P in Watt,
Verlustleistung ist auch Leistung, nach Umstellen der Formeln gilt auch $Pv = I^2 * R$

Die geleistete Arbeit ergibt sich mit Leistung mal Zeit,
$W = P * t$, an den Stromanbieter zahlen wir meist nach verbrauchten kWh (Kilo Watt Stunden)

Nichts funktioniert ohne Verluste, was wir nutzen hat einen Wirkungsgrad. Fließt Strom durch eine Leitung, so sind die Verluste natürlich abhängig vom Widerstand des Leiters, wesentlich ist der Strom, der geht nach obiger Formel quadratisch ein.

Stromnetz im Gleichtakt

Wechselspannung bietet Vorteile, es ist einfach mit einen Transformator die Spannung herauf zusetzen, für verlustärmere Fernübertragung (höhere Spannung, kleinerer Strom]. Für den Verbraucher wird die Spannung wieder herab gesetzt.



Excel-Sinus

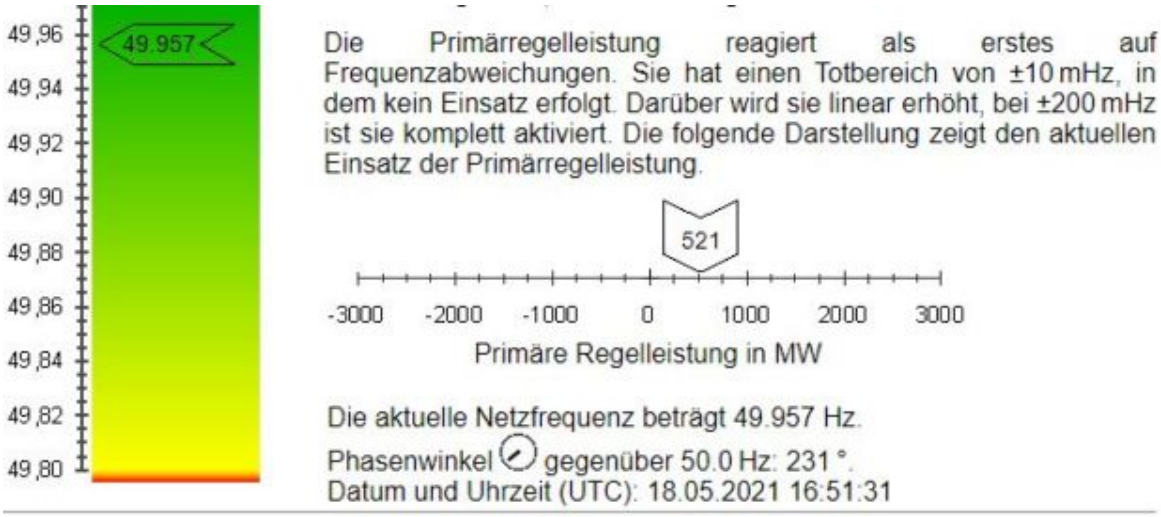
Der Nachteil ist, dass alle an das Netz angeschlossenen Generatoren, ihre Spannung im Gleichtakt einspeisen müssen. Der exakte Takt – die Frequenz, beträgt für z.B. Deutschland, Österreich, Schweiz 50Hz, das sind 50 Zyklen / sec. [Erst 1930 wurden in Deutschland die 50 Hertz als Normfrequenz festgeschrieben.]

Die aktuelle Netzfrequenz finden Sie hier:
https://www.netzfrequenzmessung.de/,
Ein Ing. Büro, das auch professionelle Auswertungen zur Verfügung stellt.

Messung der Netzfrequenz

In jedem Augenblick muss von den Kraftwerken genau so viel Strom erzeugt werden, wie von den Verbrauchern abgenommen wird. Liegt die abgenommene Leistung über der den Generatoren zugeführten Leistung, dann wird das Leistungsdefizit zwischen zugeführter und abgenommener Leistung aus der Rotationsenergie der Generatoren gedeckt. Diese werden dadurch langsamer, d.h. die Netzfrequenz sinkt.

Verschiedene gestaffelte Regelmechanismen sorgen bei einer Abweichung von der Sollfrequenz zu einer Leistungsanpassung an den Generatoren, um wieder die 50,0 Hz zu erreichen. Links dargestellt ist die aktuelle Netzfrequenz. Die Skala ist so groß ausgeführt, um die geringen Frequenzänderungen detailliert darstellen zu können. Im normalen Netzbetrieb treten Abweichungen bis 0,150 Hz auf, die Primärregelleistung wird erst bei einer Abweichung von 0,200 Hz voll eingesetzt.



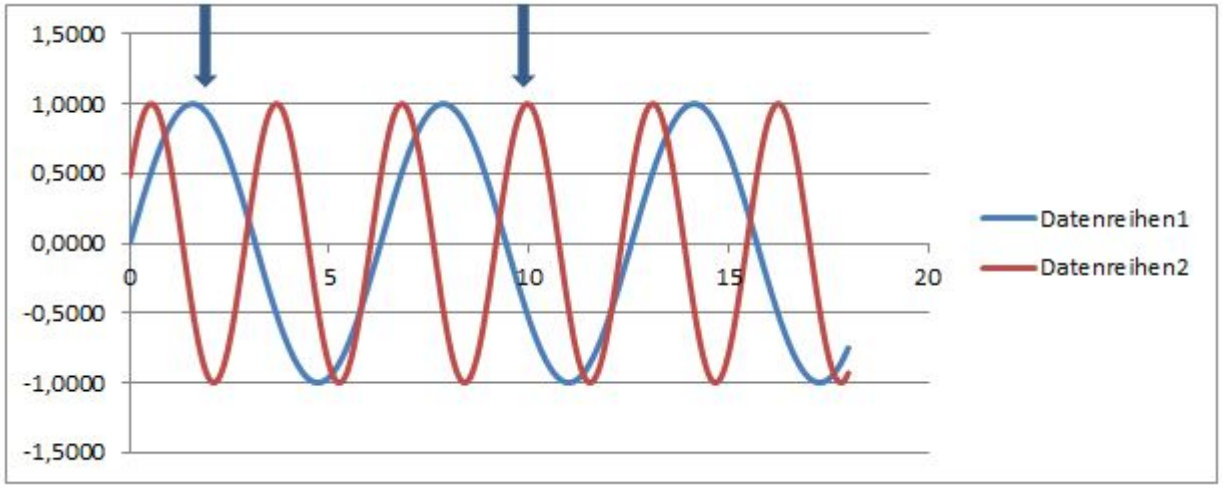
Die derzeit Primärregelleistung beträgt im obigen Screenshot gerade 521 MW, d.h., dass müssen konventionelle Kraftwerke gerade zusätzlich abgeben. Wind und Sonne können „kein Gas geben“.

Zeitlicher Verlauf der Netzfrequenz:
https://www.netzfrequenzmessung.de/verlauf.htm (etwas warten, die Grafik wird zeitlich aktuell erstellt)

Weicht nun ein Generator davon ab, kommt es zu Ausgleichsströmen, die je nach Frequenzabweichung bis zur Zerstörung der Netzkomponenten oder der Generatoren führen kann.

Um Generatoren miteinander zu koppeln, müssen übereinstimmen:

Die Frequenz, die Phasenlage (der Beginn), die Höhe der Spannung



Um es deutlich darzustellen, sehen Sie im obigen Beispiel einen Frequenzunterschied von 1:2. Und auch eine Phasenverschiebung. An vielen Stellen ist der Wert (die Spannung) der beiden Sinuswellen sehr unterschiedlich, im realen Netz kommt zu Ausgleichsströmen.

Die Pfeile könnten an allen Stellen angebracht sein, hier zeigen sie nur auf Beispiele: „Blau“ hat den Maximalwert, „Rot ist fast maximal Negativ, oder „Rot hat Maximalwert, „Blau“ ist fast maximal Negativ..

Wann kann es zu Frequenzabweichungen kommen?

Im ausgeglichenen Zustand, liefert der Generator gerade so viel Strom, wie gebraucht wird, der Motor dreht den Generator gleichmäßig, Wird mehr Energie (Strom) gefordert, so wird der Antrieb des Generators etwas langsamer werden, die Frequenz geht zurück- der Antrieb muss nachgeregelt werden. Die wichtigste Regelgröße ist die Frequenz (was der Drehzahl entspricht).

Wird Last abgeschaltet, so leuchtet es ein, dass die Drehzahl und damit die Frequenz zunehmen. Der Regler reduziert die Energiezufuhr des Antriebes.

- die Frequenz ist im Stromnetz das Maß für ein Leistungsgleich- bzw. ungleichgewicht.
- Solche Lastsprünge treten auch auf, wenn Wind und Sonne „Einspeise- bzw. Abfallsprünge“ verursachen.

Was ebenfalls nicht erwünscht ist: Blindleistung

In Wechselstrom-Netzen gilt: Wirkleistung + Blindleistung = Scheinleistung

Einfach erklärt: https://www.youtube.com/watch?v=p7AEHfs9EOA

Komplexer erklärt: https://docplayer.org/67158225-Blindleistung-blinde-leistung-ohne-nutzen.html

„Blindströme“ lassen sich grundsätzlich nicht vermeiden, sie sollten jedoch

gering sein, da sie die Leitungen ebenfalls belasten und Übertragungsverluste nach obiger Formel $Pv= I^2 *R$ ergeben.

Die Begriffe beziehen sich auf Wechselstromkreise. In diesen ist das Induktionsgesetz gültig, d.h. Spulen und Kondensatoren können in Form von Magnetfeldern und elektrischen Feldern Energie speichern (und wieder abgeben). Da im Falle von Spulen und Kondensatoren sowohl der Feldaufbau als auch der Feldabbau eine gewisse Zeit benötigt, verschieben sich Stromfluss und Spannungsverlauf zeitlich gegeneinander.

Auf dieser Webseite gibt es weitere interessante Erklärungen.

https://www.emf.ethz.ch/de/emf-info/themen/physik/verknuepfung-von-elektrischen-und-magnetischen-feldern/wirkleistung-blindleistung-scheinleistung/

Obige Sinuskurven habe ich mit MS-Excel erstellt. Sie können die Exceldatei Sinus herunterladen und durch verändern der Parameter selbst sehen, wie sich die Kurvenverläufe – und vor allem die zusammengesetzten, verändern

Andreas Demmig

Ich hoffe, ich konnte den Einstieg in die Wirkungsweise der rotierenden Generatoren zur Stromerzeugung vermitteln. Eine Information wieviel Kraftwerke bzw. welche Leistungen als Mindestreserve für die Stabilität unserer Energieversorgung wichtig sind, kommt in einem weiteren Beitrag.

***

Möglicherweise auch Interessant:

Übertragung elektrischer Energie, Prof. Dr. Muhr, TU Graz

https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Events/Eninnov2014/files/pr/PR_Muhr.pdf

https://www.e-steiermark.com/pressemitteilungen/blackout-leitfaden-fuer-alle

http://publications.rwth-aachen.de/record/760181/files/760181.pdf