

Solarmodule in Funkfrequenzen

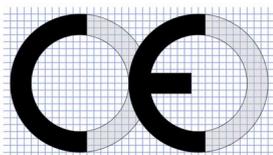
Durch: Dipl. Ing. F.C.T. Gale (G8GFH / PA2TG)

Vor einigen Monaten wurde ich gebeten, zu helfen und eine Stellungnahme ab zu geben für einen Freund, der unter den Störungen zweier PV-Anlagen in seiner Nachbarschaft litt. Während dieses Gesprächs dachte ich, dass mein Fachwissen auch für andere Funkamateure, Hörer und Modellbauer, interessant sein kann. Ich schreibe aus meiner Erfahrung und meinem Hintergrund. Ich bin qualifizierter Elektronikdesigner/Entwicklungs und beschäftige mich hauptsächlich mit dem HF-Teil von Instrumenten und Systemen für den Einsatz im Weltraum. Insbesondere in wissenschaftlichen Satelliten. Ich veröffentliche hauptsächlich auf Englisch, so dass die Sätze hier und da vielleicht nicht ganz korrekt sein werden.

Ich habe mich mit den Problemen der aktuellen Solarmodul-Installationen befasst, und bevor ich mich weiter mit den technischen Details gehe, möchte ich zunächst einen meiner Kommentare hier schreiben: Was auch immer die technischen Probleme oder Lösungen sind, es wird immer Geld kosten kosten und Zeit in Anspruch nehmen. Das bedeutet, dass der Eigentümer einer fehlerhaften Anlage Maßnahmen ergreifen muss Maßnahmen ergreifen muss, um die Probleme zu lösen, und dass er oder sie bereits gehört oder gelesen hat, dass seine oder ihre Anlage sicher ist, wirtschaftliche Vorteile bietet, besser für die Umwelt ist besser für die Umwelt ist und sehr lange halten wird. Und auch, dass sie europäischen Normen“ entspricht und dass sie von „unseren Experten“ installiert wurde. Natürlich haben wir als Rundfunk-/Hörfunkamateure etwas mehr technische Erfahrung mit Fehlern als der durchschnittliche Kunden/Besitzer, aber es gibt bestimmte Aspekte, die man hätte wissen müssen.

Der durchschnittliche Kunde hat also kaum Kenntnisse über EMV oder über die einschlägigen „EU-Normen“. Schließlich arbeitet er oder sie schließlich bei einer Bank, einer Autowerkstatt, einem Friseur, einer Fabrik oder als Chirurg in einem Krankenhaus und ist damit abhängig von den Menschen, die dieses Wissen haben sollen. Außerdem wüsste er nicht, ob die so genannten Experten' wirklich über das nötige Wissen verfügen. Und wenn ja, dann ob diese „Experten“ oder ihr Personal die richtigen Methoden anwenden, z. B. die korrekte Art der Verlegung von Drähten und Kabel.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die „CE“-Kennzeichnung bestimmter auf dem Markt befindlicher Geräte und Zubehörteile bei oberflächlicher Betrachtung keine Garantie darstellt - siehe nachstehendes Beispiel.



CE (Conformité Européenne)



CE (China Export)

Es ist offensichtlich, dass die echte europäische Konformitätskennzeichnung ein einheitliches Zeichenformat verwendet, während die chinesische Exportkennzeichnung dies nicht tut und manchmal sogar andere Abstände verwendet.

Korrekte, gültige und irreführende CE-Kennzeichnung.

Nicht-technische Probleme:

Auf jeden Fall wird ein durchschnittlicher Käufer einer solchen Anlage nicht auf zusätzliche Kosten und Arbeit warten, nachdem die Anlage bereits "fertig" ist. In meiner Nachbarschaft gibt es viele Neubauten, wo die Häuser etwa € 750.000 - € 950.000 kosten, aber die Käufer sind nicht bereit, € 75 für die Reparatur eines Fensters zu zahlen, das nicht richtig schließt. Deshalb wird die Nachrüstung teurer Solaranlagen oder Teile davon überhaupt nicht umsetzbar sein. Darin liegt das erste Problem, denn Unternehmen wie AP Systems und andere würden „kostenlose“ Filter an diese Kunden mit Ausfällen geben, aber nicht die Kosten für den Einbau der Filter übernehmen. Außerdem hat der durchschnittliche Kunde keine Ahnung, welche Wechselrichter und/oder Optimierer in der Anlage ist und ob alles richtig geerdet ist.

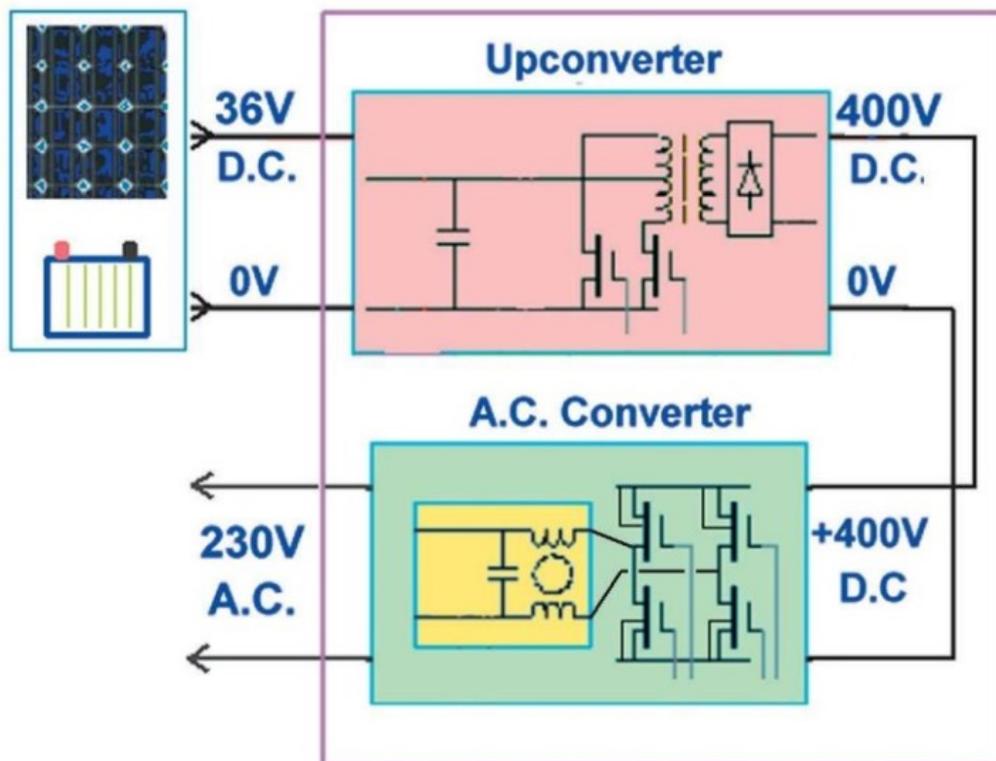
Dann gibt es das zweite Problem, und das hat mit dem Mangel an technisch qualifiziertem Personal zu tun, das die Installation durchführt, und mit der Tatsache, dass nur wenige Installateure ausreichende Kenntnisse über RF haben, und wenn sie es haben, ob sie die richtige Arbeitsweise befolgen, denn die richtige Art der Verkabelung zwischen den Modulen auf dem Dach kostet etwas mehr, und es gibt einen großen Druck, die Installationen so billig und schnell wie möglich zu machen. Dies führt unweigerlich zu mehr unnötigen Störungen.

Wirkungsgrad:

Ein durchschnittlicher Wechselrichter sollte einen Wirkungsgrad von ca. 96 % haben. Dieser Wert kann jedoch abweichen, insbesondere wenn eine geringere Leistung verwendet wird.

Ein Beispiel: Bei einer 5kW-Anlage mit einer Last von nur 500W liegt der Wirkungsgrad bei 94%, bei einer Last von 3 kW liegt sie bei 97,5%. Insgesamt wird bei Voll last ein Strom von ca. 150 Ampere erreicht.

Selbst bei einem Wechselrichter mit einem Wirkungsgrad von 97,5 % gehen noch ca. 75 W an anderer Stelle verloren, z. B. als Wärme oder Signalübertragung. Eine solche Anlage würde auch eine Verkabelung von den Modulen auf dem Dach, die den Wechselrichter mit Strom versorgt, benötigen. Und mit einer einfachen seriellen Verkabelung um die Module herum wird eine ideale Antenne realisiert, obwohl der Wechselrichter gut funktioniert und selbst effizient ist.

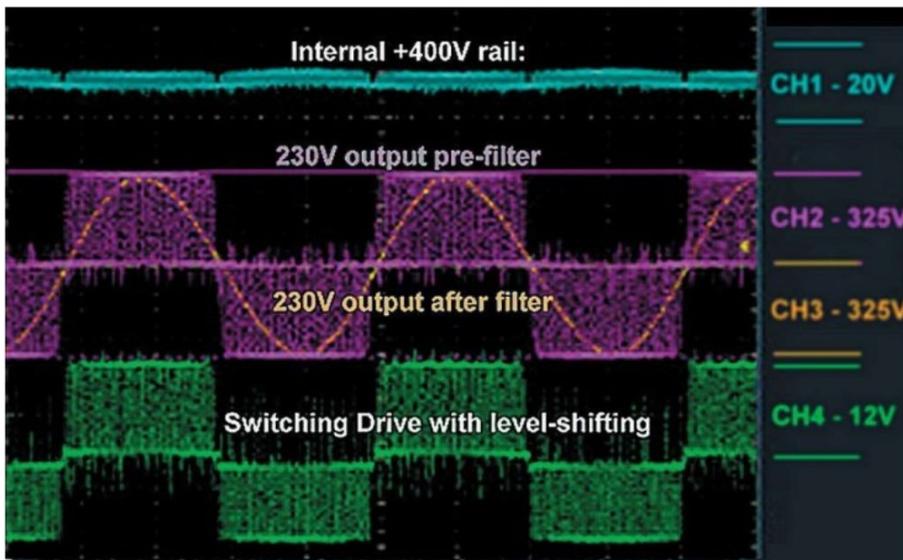


Prinzip eines Wechselrichter

Wechselrichter als Störquelle:

Ein Wechselrichter („Inverter“) arbeitet mit mindestens zwei Schaltnetzteilen. Eines zur Erzeugung von ca. 400 V Gleichstrom aus den 36 V Gleichstrom der Module und eines zur Erzeugung von 220 V sinusförmigen Wechselstrom aus diesen 400 V Gleichstrom. Einige Kilowatt werden bei 30KHz - 60KHz durch Leistungs-FETs mit einer V_{sat} von einigen Volt erzeugt zwangsläufig eine Menge harmonischer Oberwellen, die herausgefiltert oder im Gehäuse gehalten werden müssen.

Im zweiten Schaltnetzteil wird zur Erzeugung der „Sinusspannung“ von 220 V AC Pulsbreitenmodulation verwendet. Die FETs werden also weiterhin mit einer Rechteckwelle variabler Breite betrieben.



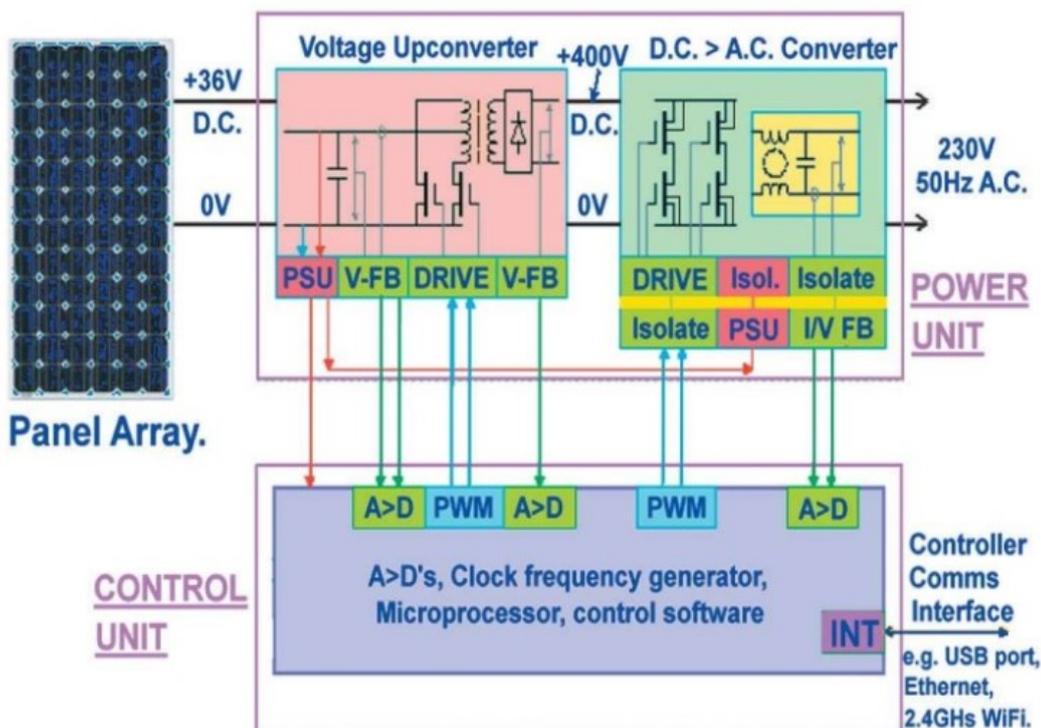
**Erzeugung von Wechselspannung
mit variabler Pulsweite**

Es gibt keine andere Möglichkeit, die FETs anzusteuern, da die FETs nicht in die Sättigung gehen würden, wenn eine andere Form der Steuerquelle verwendet würde (mit einer niedrigeren 'Steuerspannung'). Es gäbe dann mehr Zeit zwischen ihnen und es würde viel mehr Wärme erzeugt. Oft, besonders bei den billigeren Modellen, gibt es wenig oder gar keine Filterung, wo sie wirklich benötigt wird.

Es gibt auch Anlagen, die mit einer Reihe von "Mikro-Wechselrichtern" auf dem Dach arbeiten (kleinere Wechselrichter, die nur einen Teil der Solarmodule auf dem Dach versorgen) - dies hat den Vorteil, dass weniger Gleichstrom durch die Kabel fließt.

Auf dem Dach befindet sich eine Reihe dieser Mikro-Wechselrichter. Im Innenraum werden Komponenten mit geringerer Leistung verwendet und die Ausgänge sind bereits Wechselstrom, so dass sie für einen 220V Kombigerät geeignet sind. Jeder Mikro-Wechselrichter muss jedoch die gleichen komplexen Funktionen wie ein Zentralwechselrichter erfüllen. Daher ist die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers, der auch zu Schäden am Dach führen kann, größer.

Bevor ich dies näher erläutere, möchte ich folgende Beispiele für ein Zentralwechselrichtersystem zeigen.



**Beispiel eines
Wechselrichter**

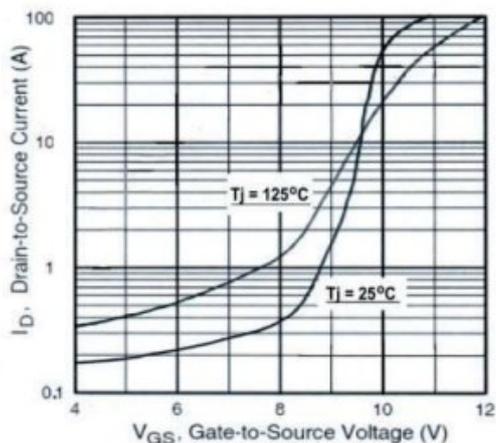
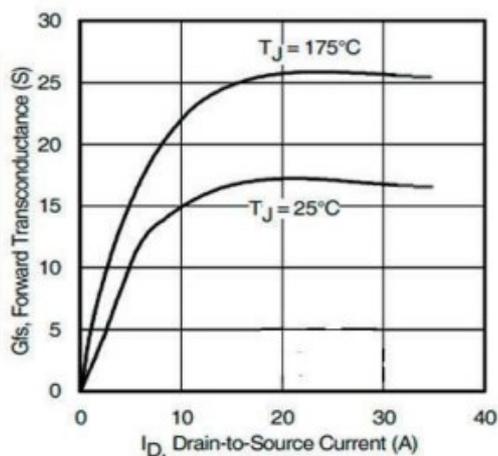
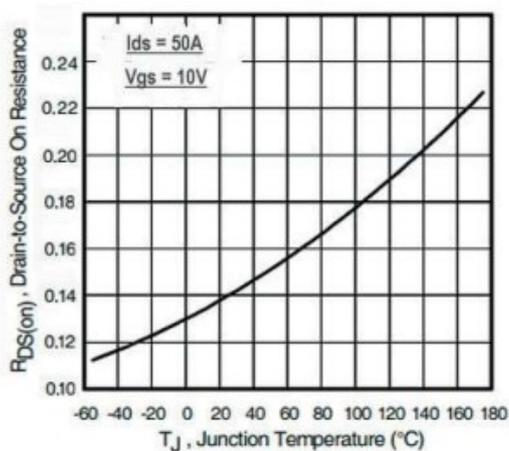
Am Eingang der Module fließt ein Strom zum ersten Schaltteil, so dass entlang dieser Verkabelung auch diese Schaltfrequenz auftreten würde, wenn im Wechselrichter zu wenig gefiltert wird. Der Ausgang sollte eigentlich 50 Hz betragen, aber wenn wieder zu wenig gefiltert wird, ist immer noch ein Störsignal vorhanden, das über die Verkabelung ins Haus gelangt.

Normalerweise ist dieser Ausgang ausreichend gefiltert, um Haushaltsgeräte nicht zu stören, aber diese Schaltfrequenz wird oft nicht im Wechselrichtergehäuse gehalten (d.h. keine gute Abschirmung). Das Gehäuse des Wechselrichters und die daran angeschlossenen Geräte müssen daher gut geerdet sein - selbst ein dicker Draht, der eine gute Erdung im Boden bewirkt, ist bei einer Länge von 3 oder 4 Metern eigentlich wertlos. Er wirkt dann eher wie eine Antenne!

Abschließend noch ein Wort zum Schalten der FETs: Manch einer mag denken, dass bei 30 bis 60 KHz die Oberwellen oberhalb einiger MHz sehr schwach sind. Bei einem T_{on} von 170nS und einem T_{off} von 270nS handelt es sich um 3.703 MHz bzw. 5.882 MHz Signale und deren Oberschwingungen!

Diese Oberwellensignale würden auch noch durch die Steuerfrequenz von 30 - 60 KHz „moduliert“ - was ein Störsignal (z.B. im 80 m Amateurfunk Band) erwarten lässt. Schlimmer noch da das Steuersignal für die FETs impulsbreit moduliert ist, wären diese Störsignale sehr breit, was mit einem Notch-Filter (Kerb-Filter) im Empfänger nicht einfach zu unterdrücken ist.

Zur Veranschaulichung habe ich die Blockdiagramme eines fiktiven Wechselrichters und die Datenblattseite eines FETs, wie er in einem Wechselrichter verwendet werden könnte, sowie ein Beispiel für Wellenformen innerhalb eines solchen Wechselrichters beigefügt.



Characteristics	Symbol	Typ.	Unit
Input capacitance	C_{iss}	6500	pF
Reverse transfer capacitance	C_{rss}	15	
Output capacitance	C_{oss}	140	
Effective output capacitance	$C_{O(eff)}$	200	
Gate resistance	r_g	2	Ω
Switching time (rise time)	t_r	100	ns
Switching time (turn-on time)	t_{on}	170	
Switching time (fall time)	t_f	10	
Switching time (turn-off time)	t_{off}	270	
MOSFET d/v/dt ruggedness	d/v/dt	—	V/ns

Die wichtigsten Daten eines schaltenden FETs

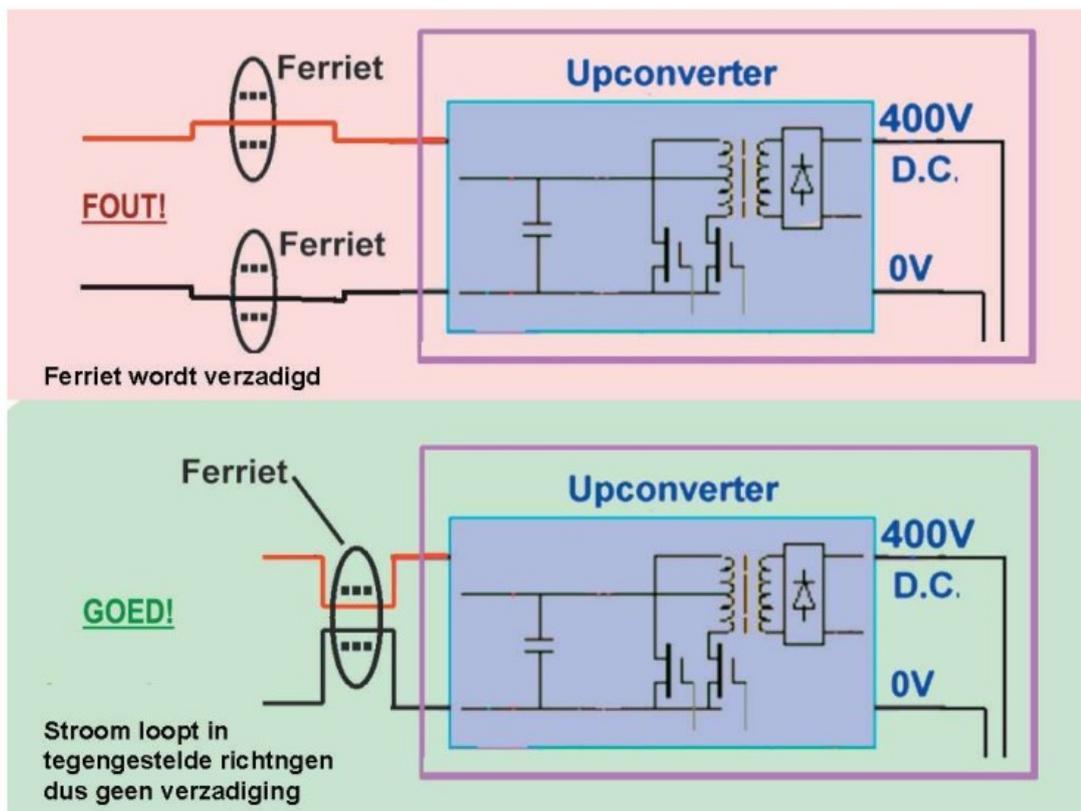
die Unterdrückung von Störsignalen:

Die Wechselrichter in einem Solarmodulsystem arbeiten mit „Schaltnetzteilen“, wodurch aus den 36 V DC der PV-Module (oder der „Hausbatterie“) ca. 400 V DC erzeugt werden. Zu den Maßnahmen, die gegen die störende Schaltfrequenz ergriffen werden können, gehört die Anbringung von Ferritkernen oder Ferritklemmen an den eingehenden Gleichstromleitungen und an den Kabeln, die die 220 V Wechselspannung liefern.

Ferrite und Ferritklemmen sind relativ preiswert und werden in vielen elektronischen Geräten wie Computern, Mobiltelefonen und anderen elektronischen Geräten verwendet. Ferrite können verwendet werden, um Gleichtaktsignale zu reduzieren, die sich über verschiedene Kabel ausbreiten. Sie werden häufig in der Nähe von DC-Stromschienen installiert, um die Ausbreitung von Störungen zwischen dem Stromkreis und der Schiene zu verhindern. Darüber hinaus ermöglicht die Isolierung durch Ferrite, dass gemischte Signalstromkreise dieselbe Stromschiene gemeinsam nutzen können, während gleichzeitig das Einkoppeln von Störungen zwischen verschiedenen Stromkreisen verhindert wird. Sie werden auch in Signalleitungen verwendet, um hochfrequentes Rauschen zu unterdrücken, das bei vielen Instrumenten auf niederfrequenten Leitungen Probleme verursachen kann.

Über die Gleichstromkabel fließt ein ordentlicher Strom zum ersten Schaltblock - denken Sie an einen Wechselrichter in einem 5kW-System, der 220V liefert - das sind etwa 138 Ampere bei 36V (unter theoretischen Bedingungen, die perfekt sind und wenn alles 100% effizient ist)! Einige Systeme arbeiten mit einer Gleichspannung von 24V oder 48V, so dass der Strom für die gleiche Ausgangsleistung höher oder niedriger ist - aber es ist immer noch ein ziemlich hoher Gleichstrom.

Über die 220V AC (50Hz AC) Ausgangsleitungen des Wechselrichters fließt viel weniger Strom - bei einer Last von 500W sind es nur 2,27A und bei 3kW 13,6A.



Falsche (**FOUT**) und richtige (**GOED**) Anordnung von Ferritkernen auf Gleichstromkabeln (DC)

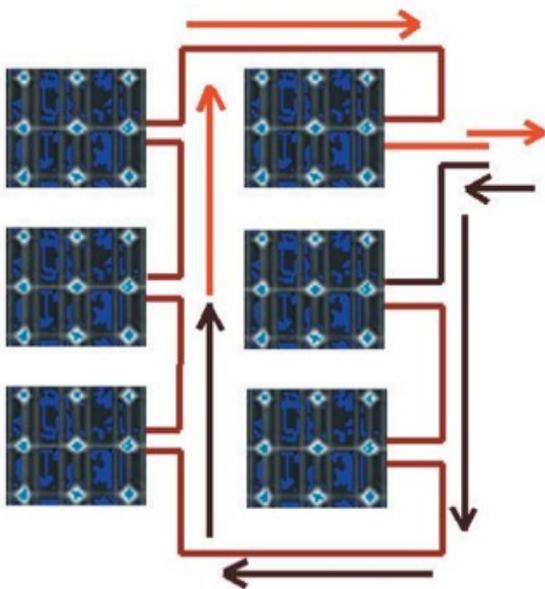
Gleichstromverkabelung und Ferrite:

Es ist wichtig zu wissen, dass, wenn ein Gleichstrom (d.h. in einer Richtung) durch einen Ferrit durch einen Draht fließt, der Ferrit schnell "gesättigt" wird, was "Sättigung" im Deutschen bedeutet, d.h. er wird viel weniger effektiv (etwa 85 % weniger). Die Höhe dieses Sättigungsstroms hängt von der Größe und dem Material des Ferrits ab. Der Gleichstrom von den Paneelen (oder der "Hausbatterie") wird über zwei Leitungen, die +V-Leitung und die -V-Leitung, zum Wechselrichter geleitet. So dass die +V-Leitung zum Wechselrichter und die -V-Leitung als Rückleitung vom Wechselrichter dient.

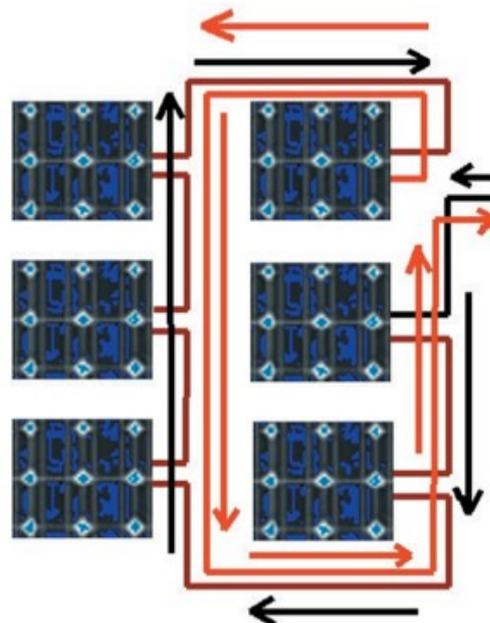
Wenn die beiden Drähte der Schalttafel (+ve und -ve) durch einen Ferrit geleitet werden, ist der effektive Gesamtstrom durch den Ferrit sehr gering, da der Gleichstrom in entgegengesetzte Richtungen fließt und der Ferrit seine Wirksamkeit behalten kann. Daher MUSS der Ferrit oder eine Ferritklemme für das DC-Eingangskabel zum Wechselrichter immer über die beiden Drähte gelegt werden. Es wird empfohlen, die beiden DC-Drähte nach Möglichkeit zu verdrehen, um die Möglichkeit der Abstrahlung von Störsignalen zu verringern, was in der Praxis aufgrund der Dicke der Drähte selten möglich ist.

Da der Wechselrichter der „Verursacher“ von Störsignalen ist (die PV-Module selbst erzeugen keine Störsignale), sollte der Ferrit möglichst nahe am Wechselrichter platziert werden. (Die Störsignale entstehen auf den Gleichstromkabeln durch Stromspitzen innerhalb des Wechselrichters, wobei die Kabel selbst als Antenne wirken, während die PV-Module selbst eine sehr niedrige Impedanz haben).

Wenn die Anlage mit einer hohen DC-Eingangsspannung arbeitet, sollten die Drähte dennoch durch denselben Ferrit (Klemme) geführt werden - es gibt Fragen und Geschichten, dass die beiden Drähte etwa 10 cm voneinander entfernt sein sollten, vielleicht aus Sicherheitsgründen, aber wenn die Drähte die richtige Isolierung haben, gibt es keinen Grund, einen so großen Abstand zu verwenden. Der Ferrit muss dann auch eine vernünftige „Beschichtung“ haben, keine scharfen Kanten und natürlich genügend Platz für die Drähte - aber bei einer hohen Spannung ist der Strom viel geringer als bei 36V, das heißt, die Drähte müssen nicht so dick sein.



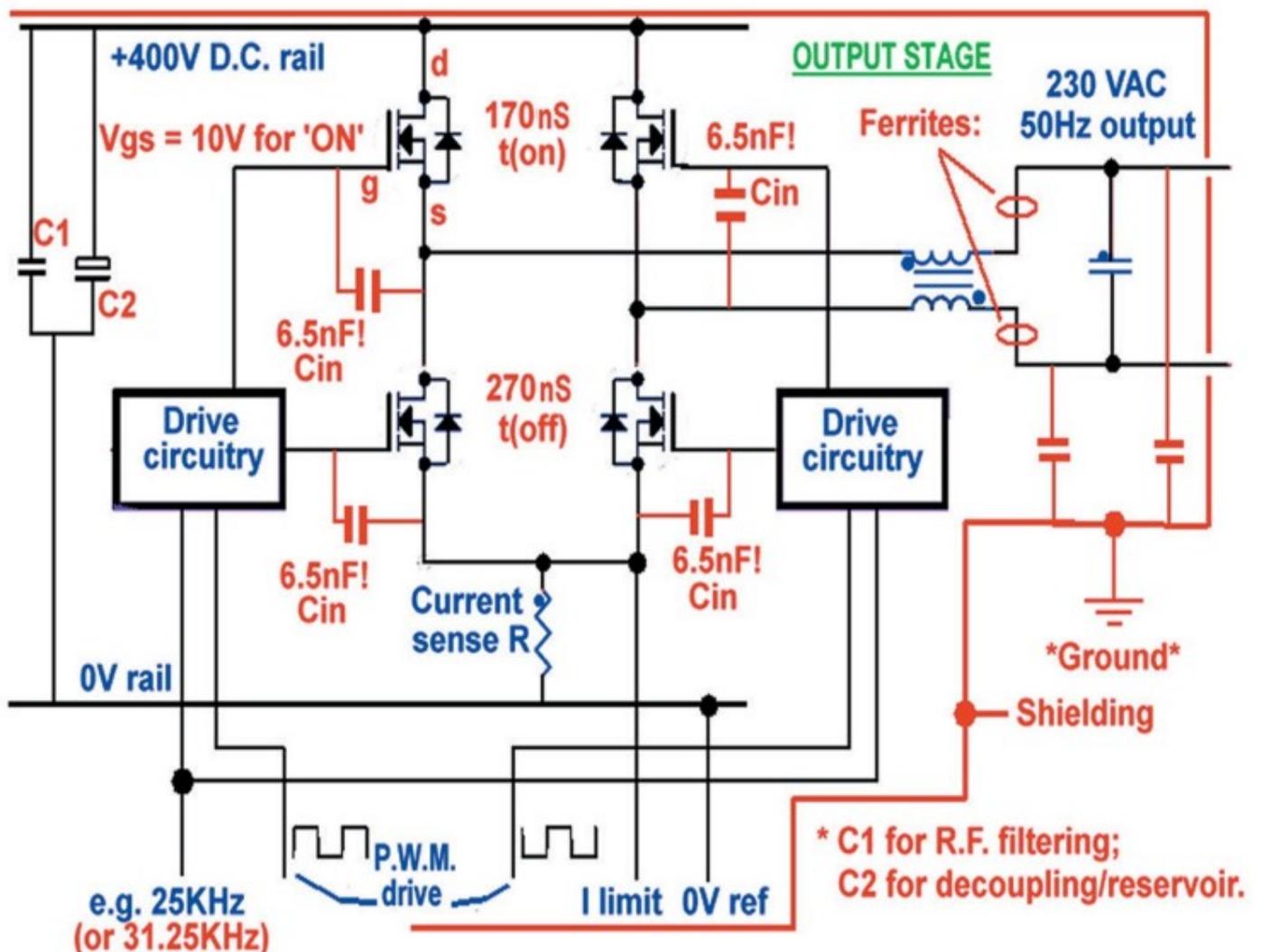
Hier fließt der Gleichstrom schön in eine Richtung - wie in einer Schleife durch die Paneele - und bildet so eine schöne Antenne.



Hier fließt der Gleichstrom um die Paneele herum bis zum letzten und dann den gleichen Weg zurück in die entgegengesetzte Richtung. Das Ergebnis ist eine geringe Abstrahlung.

Auch bei der Verkabelung der Module auf dem Dach ist es wichtig, dass diese richtig verlegt werden. Wenn es eine Gruppe von Modulen gibt, die in Reihe verdrahtet werden müssen, gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten, dies zu erreichen. Das erste ist ein Kabel vom Wechselrichter zum ersten Modul, dann zum nächsten Modul und so weiter bis zum letzten Modul und dann zurück zum Wechselrichter. Das ist absolut falsch - diese Verkabelung ist eine sehr gute Antenne, die die Stromspitzen, die der Wechselrichter erzeugt, als Störsignal überträgt - die Verkabelung ist eigentlich eine schöne 'Schleifenantenne' und auch breitbandig.

Die zweite Art der Verkabelung besteht darin, die Drähte zusammen, d. h. parallel zu verlegen, wobei ein Kabel vom Wechselrichter zum ersten Modul führt, von diesem Modul zum nächsten und so weiter bis zum letzten Modul und dann den gleichen Weg zurück (wenn möglich verdreht), da es dann keine 'Schleife' gibt, weil der Strom in die entgegengesetzte Richtung fließt. Selbst bei hohen Eingangsspannungen kann dies durch die Verwendung entsprechend isolierter Leitungen erreicht werden. Auf diese Weise wird die Abstrahlung von Störsignalen deutlich verringert oder sogar vermieden. Einige Installateure würden das nicht tun, weil es mehr Kabel und mehr Zeit kostet, aber das sind falsche Einsparungen.

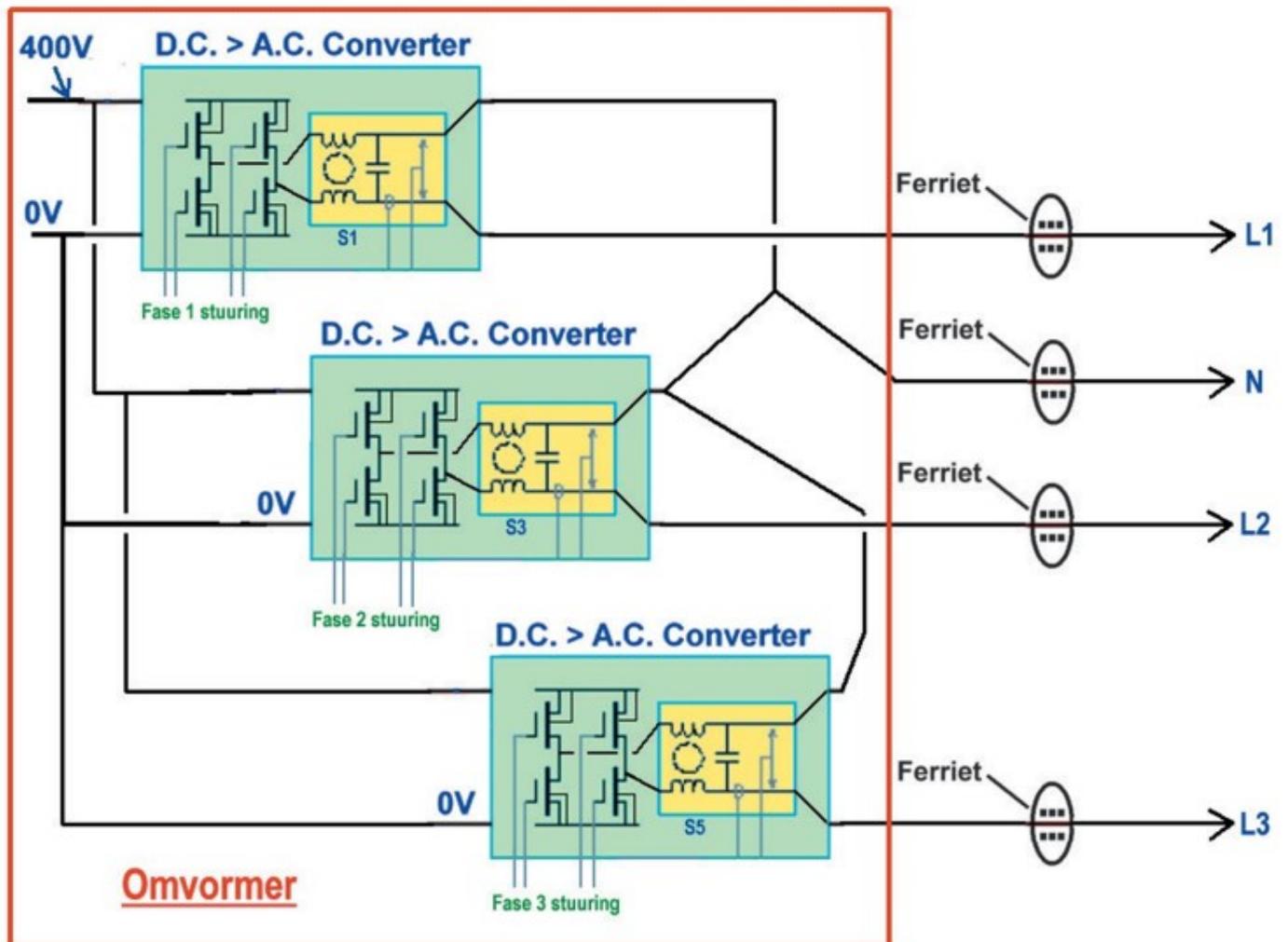


Ausgangsblock eines Wechselrichters

Wechselstromdrähte und Ferrite:

Auf 50-Hz-Wechselstromleitungen ohne Gleichstromanteil ist der Strom wesentlich geringer als auf Gleichstromleitungen - bei gleicher Leistung ist der Strom etwa siebenmal geringer. Es ist auch richtig, dass jede Wechselstromleitung ein Störsignal enthalten kann. Da es sich bei diesem Ausgang um einen symmetrischen Ausgang handelt, wird empfohlen, an jeder Ader, d.h. an der "stromführenden" Ader (bzw. an drei stromführenden Adern bei einem Dreiphasen-Wechselrichter) und an der NullleiterAder einen Ferritkern anzubringen.

Wenn die Installation für einen dreiphasigen Ausgang vorgesehen ist, einen Ferrit an jedem stromführenden Leiter und einen Ferrit am Nullleiter anbringen. Auch hier wird empfohlen, die Ferrite so nahe wie möglich am Wechselrichter anzubringen.

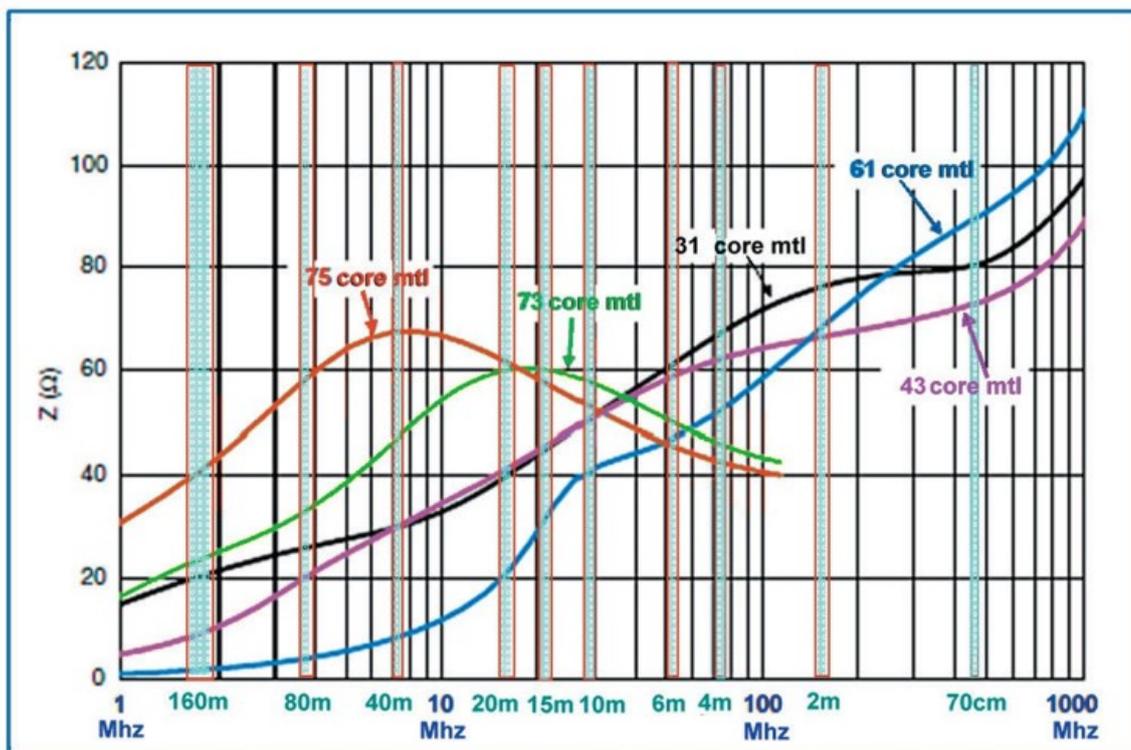


Anbringen von Ferriten an den
Wechselspannung Ausgängen der Anlage

Arten von Ferriten und Legierungen:

Es gibt verschiedene Arten von Ferriten, die für unsere Zwecke verwendet werden können, aber es gibt weniger Unterschiede zwischen den verschiedenen Typen, als viele Leute denken: Es ist wichtig, dass der Ferrit gut gegen die Frequenz der Störsignale ist.

Eine Ferritklemme an einem Kabel wird als reaktive Induktivität in Reihe betrachtet, d.h. je höher die Frequenz, desto höher die Impedanz der Klemme. Aber ein Kabel durch eine Ferritklemme enthält nicht nur diese Induktivität, sondern unter anderem auch eine Kapazität mit den Leitern in der Nähe. Und auch die Eigenkapazität der Struktur. Das bedeutet, dass jede Ferritklemme eine Art Ferritmaterial mit eigener Charakteristik besitzt. Die Dämpfung des Störsignals, die durch die Platzierung der Ferritklemme verursacht wird, nimmt mit der Frequenz ab, aber nicht unbedingt linear. Es gibt einen Bereich, in dem die Dämpfung etwas höher ist, und einen Bereich, in dem die Dämpfung geringer ist als gewünscht.



Impedanz verschiedener Ferrittypen in Abhängigkeit von der Frequenz (mtl ist Materialmix im Ferrit)

Die Leistung eines Ferrits (Klemme) wird auch von der Temperatur des Materials, der „Mischung“ der verschiedenen Komponenten im Material und der Größe des Ferrits (Klemme) beeinflusst. Für diejenigen, die sich dafür interessieren, ist der Unterschied in der Induktivität und den Frequenzeigenschaften zwischen einem Ferritring (d.h. geschlossen) und einer Ferritklemme (mit Loch) der gleichen Größe minimal, wenn die Klemme geschlossen ist - es gibt ihn, aber er spielt in diesem Artikel keine große Rolle.

Von großer Bedeutung ist auch die „Sättigung“ des Ferrits, die vom Strom abhängt, der durch den Ferrit fließt. Nimmt man zum Beispiel einen Ferrit der Zusammensetzung „Typ 31“ oder einen anderen, der in verschiedenen Datenblättern im Internet zu finden ist, so ist dieses Beispiel in vielen Anlagen die beste Lösung und wird sehr häufig verwendet.

	Common mode choke frequency range (single turn)	Common mode choke frequency range (multiple turns)
--	---	--

Material	Frequenzbereich der Gleichtaktdrossel	
	(Einzelwicklung)	(Mehrfachwicklung)
#31	3,5 - 100 MHz	1,5 - 50 MHz
#43	25 - 600 MHz	2 - 60 MHz
#52	150 - 1000 MHz	4 - 150 MHz
#61	200 - 2000 MHz	5 - 200 MHz
#77	200 kHz - 10 MHz	100 kHz - 10 MHz

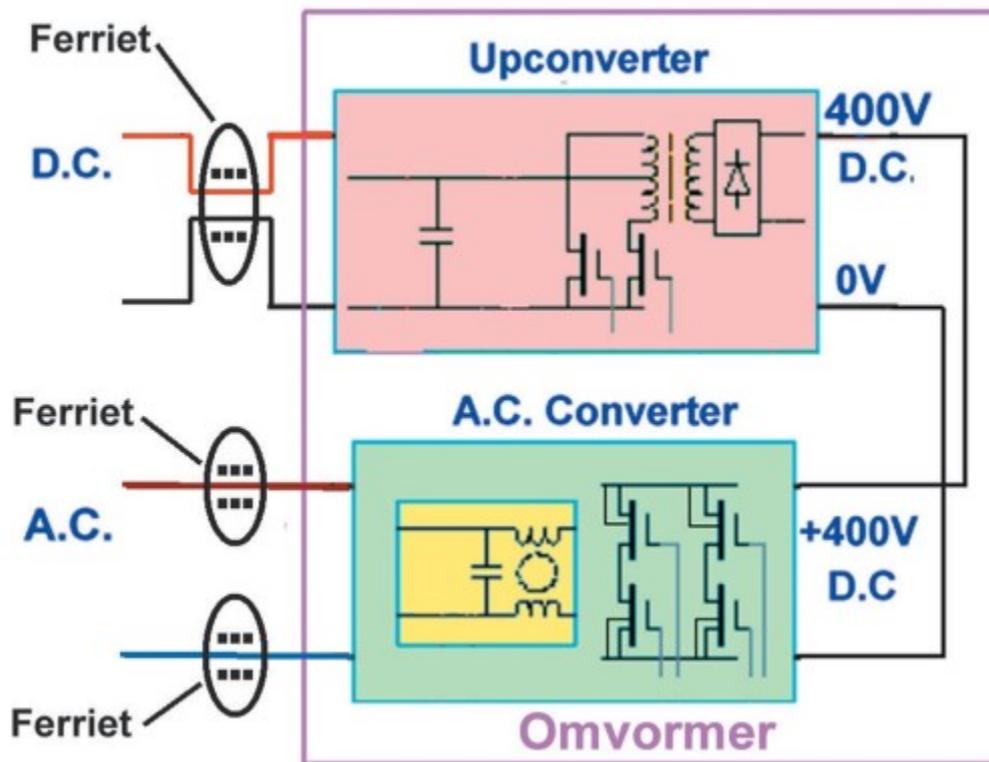
Afb. 10 - Typen van ferrieten.

Mehrere Ferritkerne:

Wenn wir feststellen, dass das Störsignal mit einer Ferritklemme um -5 dB gegenüber dem ursprünglichen Pegel sinkt, könnten wir denken, dass zusätzliche Klemmen (z.B. zwei oder drei) eine gute Lösung wären, vielleicht -15 dB oder -20 dB. Aber nichts könnte weiter von der Wahrheit entfernt sein. Wenn wir eine ähnliche Ferritklemme zusätzlich auf das Kabel setzen, erhalten wir die gleiche Dämpfung, aber diese Dämpfung ist auf ein Störsignal bezogen, das bereits -5 dB vom ursprünglichen Signal entfernt ist (die Dämpfung ist also auf alle Ferritklemmen verteilt).



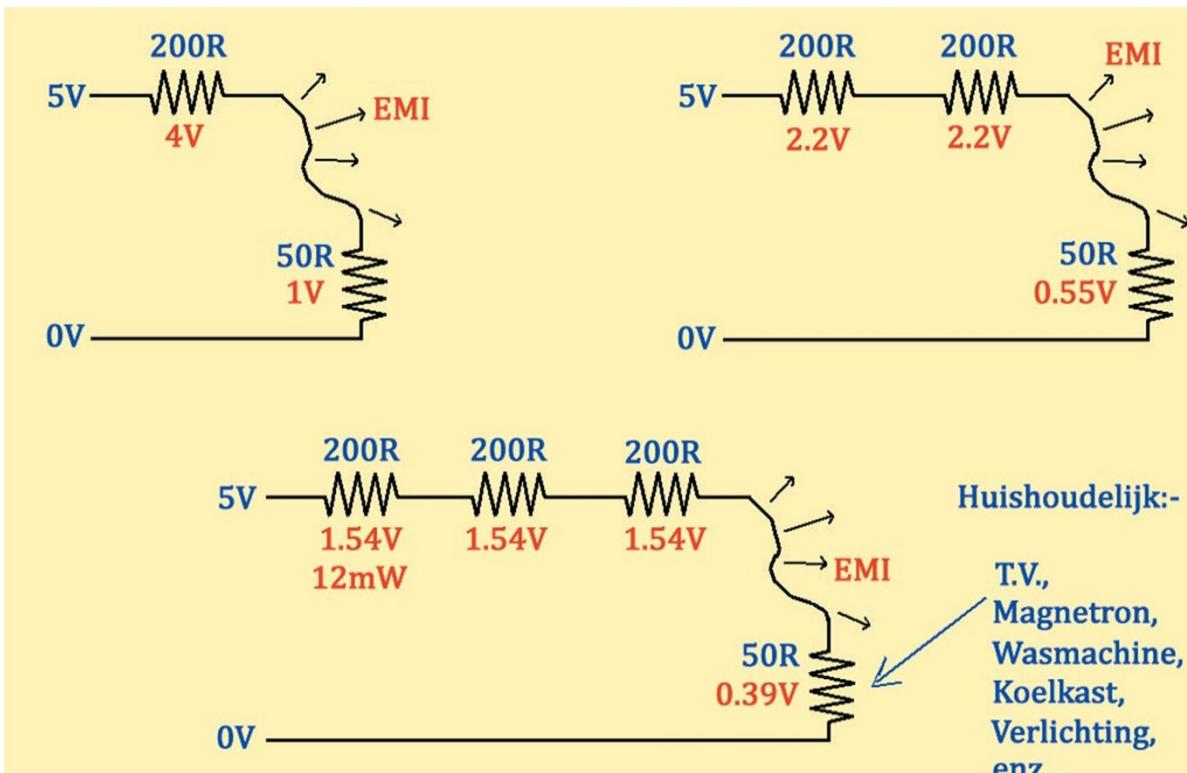
Betrachten wir eine Situation in der Widerstände (anstelle von reaktiven X_L -Widerständen) mit einem bestimmten Ausgangswiderstand in Reihe geschaltet sind. Beachten Sie, dass ich als Beispiel eine „Last“ verwende, die die Last aller elektrischen Geräte im Haushalt ersetzt die in der Praxis auftreten würden - und diese Last ist nicht einfach zu bestimmen, da sie sich pro Minute oder pro Stunde ändert, wenn Fernseher, Waschmaschinen usw. ein- oder ausgeschaltet werden!



Allgemeiner Einbau von Ferriten

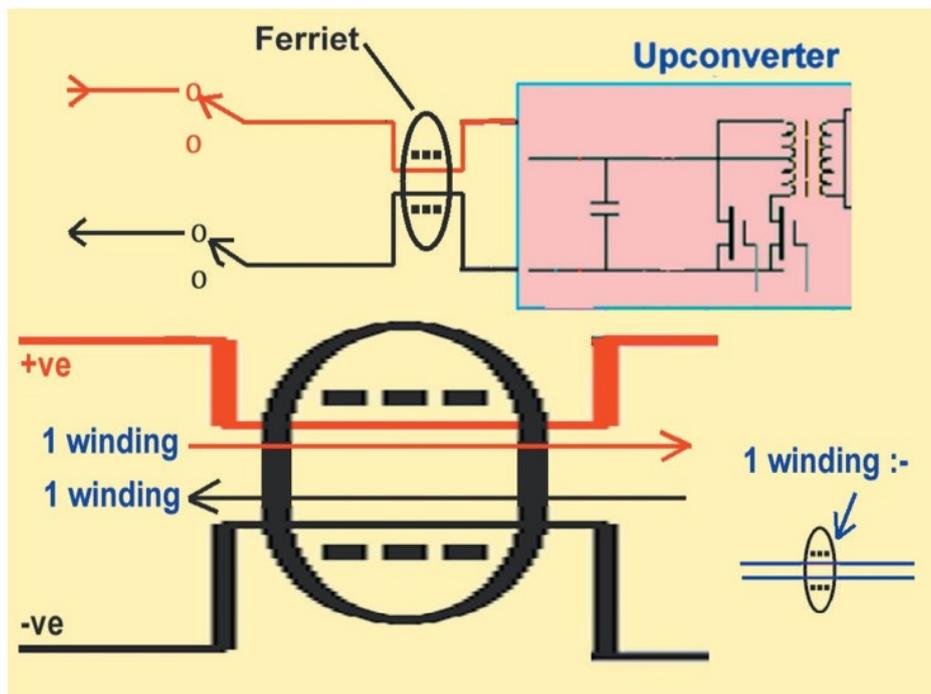
Zuerst haben wir einen Widerstand (genau wie der effektive Widerstand X_L eines Ferrits) in Reihe mit einem bestimmten „Lastwiderstand“. Zum Beispiel ein Widerstand von 200 Ohm (anstelle eines Ferrits X_L) in Reihe mit einer 'Last' von 50 Ohm. Bei einem (störenden) Eingangssignal von 5 Volt haben wir dann 4 Volt am 200-Ohm-Vorwiderstand und 1 Volt an der 50-Ohm-„Last“. Jetzt denken wir, dass wir es besser machen können, indem wir einen zweiten "Widerstand" in Reihe schalten. Dann wären wir in Reihe mit der 50-Ohm-Last. Mit diesem 5 Volt Störsignal haben wir jetzt 2,22 Volt über alle 200 Ohm und 0,56 Volt an der 50 Ohm 'Last'. Keine 4 Volt über alle 200 Ohm.

Dann werden wir einen zusätzlichen Widerstand in Reihe schalten, also insgesamt 600 Ohm in Reihe. Die Spannung beträgt dann 0,39 Volt über der 50-Ohm-'Last'. Mit 3 'Widerständen' in Reihe Widerständen' in Reihe statt 1 haben wir etwa 40% der Spannung, die wir mit nur 1 Vorwiderstand Widerstand. Und das bedeutet weniger „Dämpfung“ über jeden 200-Ohm-Reihenwiderstand (1,54 Volt). Also - mit einem Widerstand' haben wir 4 Volt über jedem Vorwiderstand, mit 2 'Widerständen' haben wir 2,22 Volt über jedem Vorwiderstand, und bei 3 Widerständen in Reihe haben wir dann nur 1,54 Volt über jeden Vorwiderstand



Mit anderen Worten: Wenn man zusätzliche Ferrite in Reihe schaltet, erhält man nicht so viel zusätzliche Dämpfung der Störsignale, wie man erwarten könnte. Wo zusätzliche Ferrite helfen können, ist in Situationen, in denen mehrere Frequenzen gedämpft werden müssen. Eine Kombination aus einem Ferrit eines bestimmten Typs auf dem Kabel, gefolgt von einem zweiten Ferrit eines anderen Typs, ergibt eine hohe Dämpfung bei einer anderen Frequenz.

Eine weitere Möglichkeit, die Störsignaldämpfung pro Ferritklemme zu erhöhen, besteht darin, mehrere Wicklungen der Drähte durch den Ferrit zu führen, aber aufgrund der Höhe des Stromes ist dies wegen der Dicke der Drähte nicht einfach zu erreichen. Deshalb habe ich von einer 'Wicklung' gesprochen, und zwar nicht nur von der Gleichstromleitung, sondern von beiden Drähten zusammen.



Eine Wicklung auf einem Ferritkern

Schlußfolgerungen:

Erstens, nach den verschiedenen Diskussionen und Fragen und auch nach viel Lektüre, sehe ich, dass in Zukunft, wenn es keine Verbesserung der Qualität der durchschnittlichen Solaranlage gibt, irgendwann viel zu viele Störsignale in das Funkspektrum eindringen werden. Diese Signale werden sich sehr negativ auf verschiedene Dienste auswirken, wie z.B. die Kommunikation mit Krankenwagen und Feuerwehr, Schifffahrt und Luftfahrt und Verspätungen im Verkehrssektor.

Um diese Störungen zu reduzieren, sind wirksamere Vorschriften mit einer besseren Durchsetzung erforderlich. Um dies zu erreichen, müssen die Installationsfirmen jedoch über das notwendige technische Wissen und qualifiziertes Personal verfügen.

Wenn das geklärt ist, dann sollte man auch so vorgehen. Also nicht nur mit Blick auf den Betrieb der Anlage, sondern auch mit Blick auf den Schutz der Anlage und auf mögliche Störsignale.

Dies liegt nicht nur im Interesse der anderen Nutzer des Frequenzspektrums, sondern auch im Interesse des Eigentümers der Solaranlage selbst. Es ist zu bedenken, dass bei unvollständiger Dämpfung der Störsignale auch Signale von außerhalb der Anlage störend auf den Betrieb der Anlage einwirken können. Insbesondere in Zeiten von „Hacking“ und anderen Problemen im Funkspektrum (zumal immer mehr dieser Anlagen immer näher zusammenrücken), ist dies ein wichtiger Aspekt.

Außerdem sollte jede Anlage tatsächlich komplett fertiggestellt sein, bevor sie begutachtet wird. Es ist nicht praktikabel, wenn der Eigentümer viel zusätzliche Arbeit leisten muss, bevor alles in Ordnung ist.

Wenn ich ein neues Auto kaufe, erwarte ich nicht, dass ich eine neue Batterie kaufen, Luft in die Reifen pumpen und die Bremsen richtig überprüfen muss. Ich muss nicht wissen, wie die Bremsanlage aufgebaut ist oder wie Hydrauliksysteme im Allgemeinen funktionieren - dafür gibt es die Werkstatt.

Die (durchschnittliche) Werkstatt kauft neue Autos nur dann, wenn alles in Ordnung ist, und baut auch die richtigen Teile für die allgemeine Zulassung.

In der jetzigen Situation sollten die Installateure wachgerüttelt werden und sich auch mehr Wissen aneignen, indem sie die Zeitungen und Artikel lesen, die von der Regierung und anderen zur Verfügung gestellt werden.

Das würde zwar nicht alles abdecken, aber es wäre ein Schritt in die richtige Richtung. Also, wenn (immer noch) ein Störungsproblem auftritt, dann gehe mit dem Besitzer sprechen, der (hoffentlich) Verständnis zeigt und gebe ihm Lösungsvorschläge wie den Einbau von Ferriten. Aber auch der rechtliche Aspekt sollte nicht vergessen werden, wie zum Beispiel die Anforderungen einer Wohngebäudeversicherung.

Auf höherer Ebene haben wir als Einzelpersonen weit weniger Einfluss auf die politische Entscheidungsfindung und die Umsetzung von Vorschriften als die verschiedenen Ausschüsse und Institutionen - was wir tun können (und sollten), ist, die sich bietenden Gelegenheiten zu nutzen, um die Behörden davon zu überzeugen, die Auswirkungen dieser Anlagen und die Maßnahmen, die sie ergreifen können, um das Auftreten damit verbundener HF-Probleme zu verhindern, zu untersuchen. Auf diese Weise können sinnvolle und „angemessene“ Normen und Standards festgelegt und sinnvolle Überprüfungsverfahren definiert werden - ein Abnahmetest (eine Art TÜV) für neue Anlagen.

**Übersetzung aus dem Niederländischen mit Hilfe von DeepL Übersetzer;
durch Dipl. Ing. Jan G.Stadman DA1TT / PA1TT**