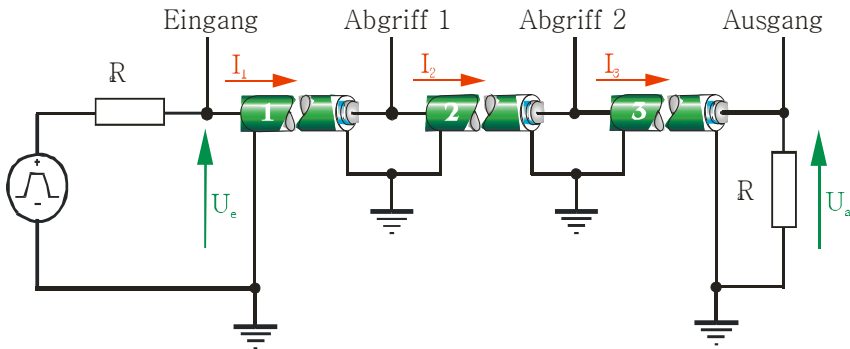
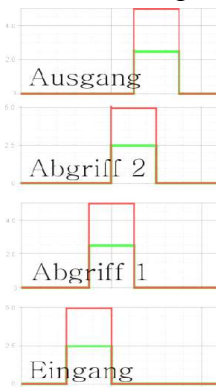


3. Das Koax-Kabel



Wie in den vorherigen Kapiteln ausführlich beschrieben wurde, besteht eine Leitung von endlicher Länge aus einer (unendlich) grossen Anzahl von Teilstücken, deren Einheitslänge sehr klein ist (\rightarrow Null). Strom- und Spannungsverlauf in diesen Gliedern ist natürlich mit den vorher beschriebenen L-C-Gliedern identisch. Der Ladungsträgertansport lässt sich aber nicht mehr so einfach darstellen. Schon acht Glieder führten zu einem fast unüberschaubaren Ergebnis.

Die nachfolgend gezeigten Messungen bzw. Simulationen wurden mit einem (verlustfreien) Koaxialkabel durchgeführt. Die Ergebnisse gelten natürlich sinngemäss auch für alle anderen Leitungen. Auch hier wurde die Leitung in Teilstücke aufgeteilt, um **Strom-** bzw. **Spannungs-**Verlauf an verschiedenen Stellen zeigen zu können. Beginnen wir also auch wie bereits bei den L-C-Gliedern und legen einen Rechteckimpuls mit einer Amplitude von 5V und einer Dauer von 250ns an den Leitungseingang. Jedes Leitungsstück hat eine Gruppenlaufzeit von 125ns. Das Ergebnis ist wie erwartet, der Puls



maschiert unverändert durch die Leitung bis zum Abschlusswiderstand, der ihn „absorbiert“. Wie verhält es sich aber bei den klassischen Beispielen: Leerlauf und Kurzschluss? Und was passiert bei komplexen Abschlusswiderständen?

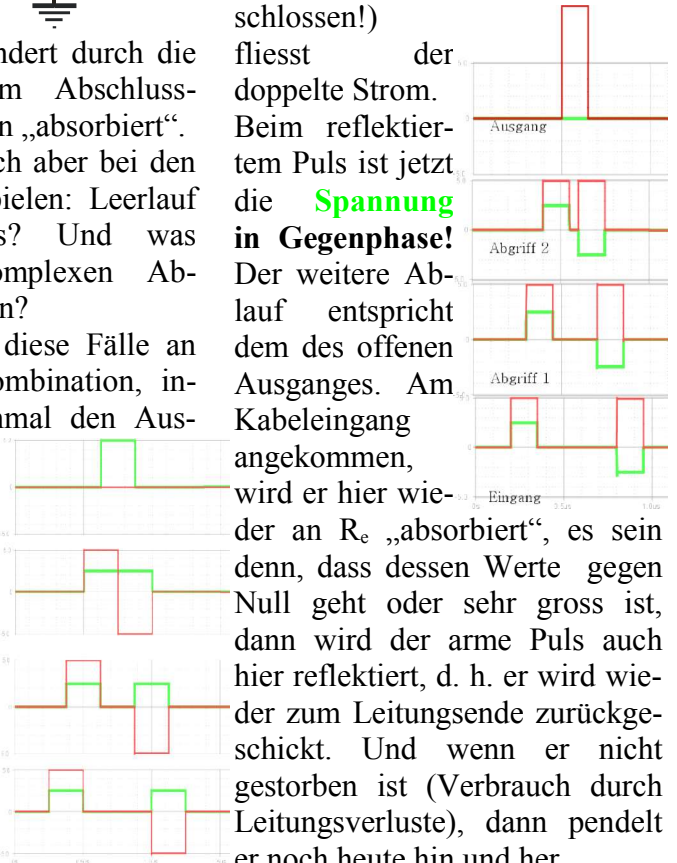
Untersuchen wir diese Fälle an dieser Leitungskombination, indem wir erst einmal den Ausgang offen lassen. Am Ende der Leitung sitzt also ein L-C-Glied, wie wir es ganz am Anfang kennen lernten. Erinnern wir uns an das Wechselspiel zwischen Kapazität und Induktivität! Auch hier wird der 'Kondensator' des letzten Gliedes von 'seiner Spule' bis auf den doppelten Wert der **Spannung** aufgeladen.

Beim Entladen fliesst der **Strom** zwangsweise wieder zurück, also **in die Gegenrichtung**, und baut in in der 'Spule' erneut ein Magnetfeld auf. Es entsteht also die gleiche Wechselwirkung, nur jetzt in die entgegengesetzte Richtung. Der Puls wird

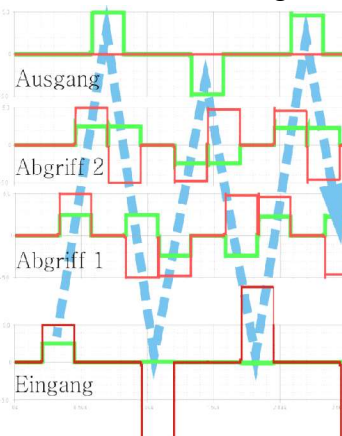
tatsächlich reflektiert! Am Ende seines Marsches durch die Leitung wird er am Eingang von Widerstand R_e „absorbiert“.

Ein Kurzschluss am Leitungsende reflektiert den Puls ebenfalls, aber durch die Induktivität als Abschluss (das C ist kurzgeschlossen!)

fliesst der doppelte Strom. Beim reflektierten Puls ist jetzt die **Spannung in Gegenphase!** Der weitere Ablauf entspricht dem des offenen Ausganges. Am Kabeleingang angekommen, wird er hier wieder an R_e „absorbiert“, es sein denn, dass dessen Werte gegen Null geht oder sehr gross ist, dann wird der arme Puls auch hier reflektiert, d. h. er wird wieder zum Leitungsende zurückgeschickt. Und wenn er nicht gestorben ist (Verbrauch durch Leitungsverluste), dann pendelt er noch heute hin und her.



Wenn wir die Phasenlage von Strom und Spannung betrachten, können wir auch hier, wie beim Schwingkreis, wieder vier Abschnitte erkennen:



1. Spannung und Strom 0°
2. Spannung 0° und Strom 180°
3. Spannung und Strom 180°
4. Spannung 180° und Strom 0°

Reflektometer nutzen die Reflexion eines Pulses an Stossstellen zum Messen defekter Kabel. Aus Laufzeitdifferenz und Phasenlage lässt sich der Ort eines Kurzschlusses oder einer Unterbrechung messen.

Erinnern wir uns an die Beschreibung des Schwingkreises: die am Ende der Leitung sitzende Impedanz (X_L bei Kurzschluss und X_C im Leerlauf) verhalten sich wie Generatoren, die ihre gespeicherte Energie wieder abgeben. Im Grunde genommen kommen wir zum gleichen Ergebnis, wenn statt des reflektier-

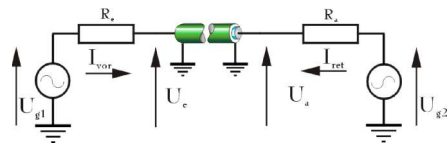
So, jetzt wissen wir, wie es zur Reflexion eines Pulses kommt und wie sich die 'Richtung' des Energietransportes auf Grund der Phasenlage zwischen Strom und Spannung eindeutig erkennen lässt.

Aber was passiert, wenn zwei oder mehr Pulse so kurz hintereinander ausgesendet werden, dass sich der vor- und der rückeilende Puls im Kabel treffen? Nachfolgende Grafik zeigt zwei Pulse, die im Abstand von

650ns auf getrennten Leitungen (rot/grün und blau/viol) übertragen werden, die jeweils am Ende kurzgeschlossen sind!

Im gleichen Kabel gesendet, addieren bzw. subtrahieren sich natürlich Strom und Spannung entsprechend ihrer Phasenlage.

Am 'Treffpunkt, hier am Eingang des Kabels, heben sich die beiden **Spannungen** auf, sie werden subtrahiert und die **Ströme** addiert.



ten Pulses ein zweiter von einem synchronisierten Generator in die Gegenrichtung eingespeist wird, wie es in den nachfolgenden Diagrammen demonstriert wird.

