

Impacto de fallas en redes de AT con compensación serie en la amplificación de corriente de fallas en instalaciones de MT y AT.

Jorge Agüero **
IITREE-LAT. FI. UNLP
Argentina

María Beatriz Barbieri */**
IITREE-LAT. FI. UNLP
Argentina

Mario Beroqui **
IITREE-LAT. FI. UNLP
Argentina

Oscar Cosatti ***
TRANSPA SA
Argentina

Resumen: Las fallas en la red de transporte de 500 kV han afectado las instalaciones de lugares remotos geográficamente, produciendo sobre-corrientes de magnitudes y pendientes elevadas que han producido la actuación de limitadores rápidos de corriente, y salida intempestiva de equipamiento electrónico a causa de huecos de tensión. Estos efectos adversos han impactado sobre redes de plantas industriales en AT y MT con alta carga y alta generación interna.

La causa de esta situación son las resonancias series-paralelo que ocurren entre las redes industriales, sus transformadores y las líneas de transporte de 500 kV compensadas con capacitores serie.

Los capacitores serie de las líneas falladas pueden desconectarse o cortocircuitarse durante la falla mediante varistores y/o explosores, pero debido a la rapidez de la actuación de los limitadores rápidos de corriente (menos de 5 ms) o de la actuación (alrededor de 2 ms) de las protecciones de pérdida de sincronismo de rectificadores a tiristores de grandes potencia (8*75 MVA) es probable que durante estos breves tiempos los capacitores series aún sigan conectados.

El objeto de este trabajo es presentar la corriente de cortocircuito eficaz, obtenida mediante simuladores clásicos de sistemas de potencia, vistas desde puntos donde se ubican los limitadores rápidos de corriente (IS limiter) o equipamiento electrónico para distintos escenarios del SADI-SIP y ante fallas bifásicas y monofásicas francas a lo largo de las líneas de 500 kV del corredor Sur COMHUE – GBA que concurren al nodo Choele Choel.

Se considera que durante la falla los capacitores serie de las líneas falladas no se cortocircuitan mediante los varistores y/o explosores. Se obtienen las corrientes eficaces permanentes de 50 Hz, vistas desde la planta industrial para fallas cada 10% de longitud de cada línea analizada. Se observa como varía la amplitud de estas corrientes debido a la resonancia que presenta la red en los puntos de análisis.

Se realiza una interpretación de los resultados que arroja el programa de cortocircuito a fin de analizar la posible actuación del Is-limiter, en particular considerando la presencia de compensación serie en las líneas de 500kV y la influencia en el transitorio de falla de la actuación de las protecciones de sobrecorriente de los capacitores

Palabras clave: resonancia, fallas en AT, actuación Is-limiter, fallas en redes con compensación serie

1 INTRODUCCIÓN

En instalaciones industriales se producen altas corrientes de cortocircuito ante fallas cercanas. Estas corrientes siempre deben mantenerse por debajo de las máximas operables por los equipamientos (en particular interruptores).

Ante el crecimiento del sistema pueden darse circunstancias en que se superen estos valores máximos admisibles (por ejemplo la inclusión de nueva generación cercana). Ante esta situación debería reemplazarse todo el equipamiento de maniobra para adaptarlo a las nuevas exigencias.

* e-mail: barbieri@iitree-unlp.org.ar. ** 48 y 116 S/N, La Plata, Buenos Aires, B1900AMF, Argentina

*** Malaspina Norte S/N, Trelew. Chubut, Argentina.

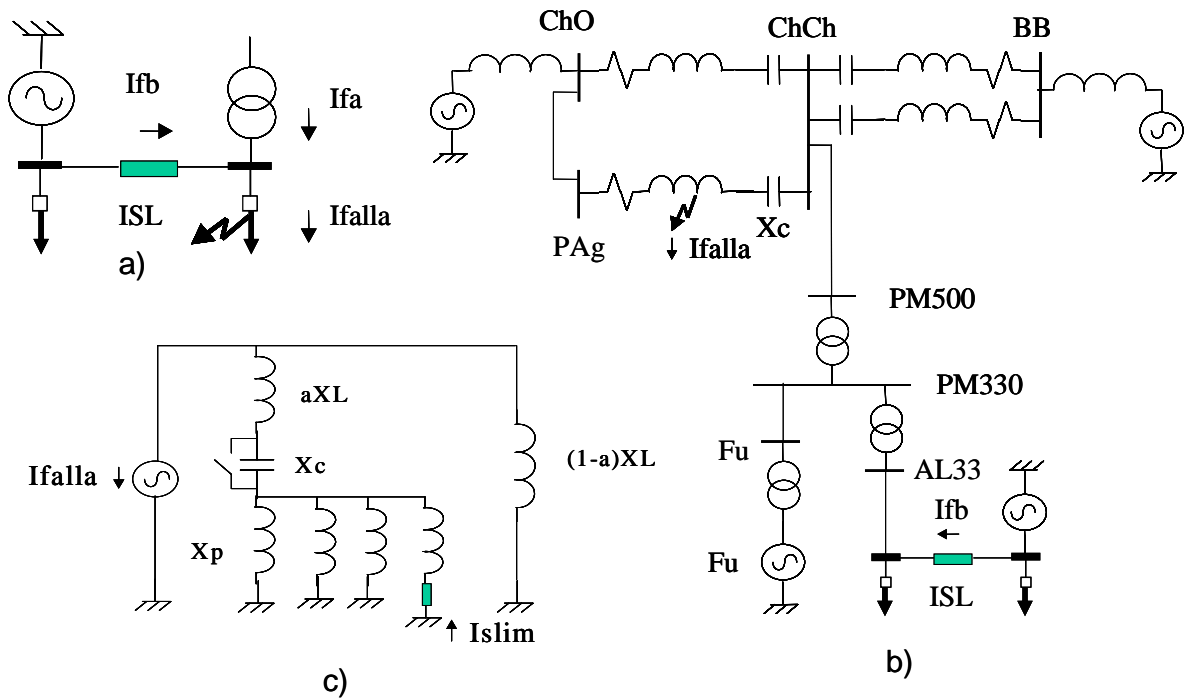


Fig. 1: Esquema unificar a) Falla en bornes del ISL b) Unificar de la alimentación de Aluar c) Circuito equivalente para una falla en un tramo compensado.

Una alternativa, válida para determinados casos y utilizada frecuentemente en plantas industriales, es la incorporación de un limitador de corriente ó ISL (Is limiter). Estos dispositivos son básicamente “fusibles muy rápidos”, que se ubican de modo tal de “separar” distintas ramas de aporte a la corriente de cortocircuito, disminuyendo así la corriente total (Fig. 1a).

Para lograr esta muy rápida actuación, el ISL posee un sistema de fusibles explosivos que abren el circuito eléctrico y que actúa por el valor estimado que alcanzaría la corriente en los primeros instantes del ciclo.

De este modo, la actuación del ISL se produce en los primeros 3-5 ms de comenzada la falla, evitando así la presencia de corrientes inadmisibles en el equipamiento.

Dado que la actuación es irreversible y de un costo económico relativamente alto, su actuación espuria es muy indeseable.

Si en el sistema existen capacitores serie, pueden darse determinadas ubicaciones de fallas, p.e. en ramas con compensación serie, tales que la corriente por el ISL sea aún mayor que con un cortocircuito en bornes, como el analizado en la Fig. 1a. Esto puede suceder por la presencia de resonancia serie. De este modo, fallas lejanas podrían determinar la actuación espuria del ISL.

Una situación de este tipo se presenta en la planta industrial de Aluar en Pto. Madryn. Un esquema simplificado del SADI en 500 kV asociado a esta zona se presenta en la Fig. 1b. Se aprecia que a la barra de Choele Choel (ChCh) concurren cuatro ramas con compensación serie, una de Piedra del Águila (PAg), otra de Chocón Oeste (ChO) y dos de Bahía Blanca (BB). Desde la barra Choele Choel sale una línea hasta Puerto Madryn (PM500). En una tensión menor interna a la planta de Aluar se encuentra el ISL como se indica en la Fig. 1b.

En la Fig. 1c se muestra un circuito equivalente esquemático correspondiente a una falla en un punto intermedio de la línea de 500 kV entre Choele Choel y Piedra del Águila, se destaca la rama por donde circula la corriente del ISL.

En el caso analizado el ISL está ajustado para que actúe ante una corriente presunta de 8kA eficaces, valor que es ampliamente superado en la actualidad, como se verá, ante el cambio topológico que significó la interconexión SADI-SIP y la existencia de capacitores de compensación serie en el corredor COMAHUE-Bs. As.

Para verificar y cuantificar la probabilidad de actuaciones espurias del ISL, deben analizarse una gran cantidad de fallas posibles en el sistema. Si bien las condiciones de actuación del ISL dependen de la

evolución temporal de su corriente, en este trabajo se analizan las condiciones de actuación espuria, con cálculos de cortocircuito de estado estacionario, con los cuales se puede realizar una gran cantidad de casos y establecer condiciones límite de posible actuación.

2 ANÁLISIS DE LA POSIBILIDAD DE ACTUACIÓN CON CÁLCULOS DE CORTOCIRCUITO.

Los capacitores serie tienen un sistema de protección por sobrecorriente, que cortocircuita el capacitor de la rama en falla en aproximadamente 2 a 4 ciclos. Al eliminar el capacitor del circuito, cambian las condiciones de resonancia reduciéndose mucho la corriente. A su vez para limitar transitoriamente la corriente en los capacitores, estos poseen descargadores en paralelo, tales que limitan la máxima tensión sobre el capacitor y por lo tanto su corriente. La acción del descargador es instantánea y se asemeja al efecto de cortocircuitar instantáneamente el capacitor, ante la aparición de la falla.

Para analizar la posible actuación del ISL, utilizando cálculos de cortocircuito de estado estacionario, se consideran por cada falla dos valores de corriente de estado estacionario por el ISL:

- Sin considerar el corto circuito del capacitor serie de la rama en falla.
- Considerando el corto circuito del capacitor serie de la rama en falla.

La curva de corriente real por el ISL estará por debajo del valor calculado en a) y por encima de valor calculado en b). Por lo tanto se puede inferir respecto a la actuación espuria del ISL lo siguiente:

- Si el valor de corriente resultante del cálculo a), es menor al nivel de actuación del ISL, se tendrá la certeza que para esa falla el ISL no actuará.

- Si el valor de corriente resultante del cálculo b), es mayor que el nivel de disparo del ISL se tendrá la certeza que para esa falla el ISL actuará.

- Para fallas donde la corriente calculada en a) es mayor y la calculada en b) es menor al nivel de disparo del ISL, no se puede asegurar que se produzca la actuación.

En la Fig. 2 se presentan las corrientes eficaces de cada fase del ISL, correspondiente a un escenario en que se producen fallas bifásicas sin contacto a tierra en una rama con compensación serie, como la indicada en la Fig. 1b, en función del lugar donde se produce la misma expresado en por unidad de la longitud total, a partir del capacitor. A cada valor de abscisa de esta curva le corresponde un cálculo de cortocircuito, del cual se obtiene la corriente de cada fase de la rama donde se ubica el ISL.

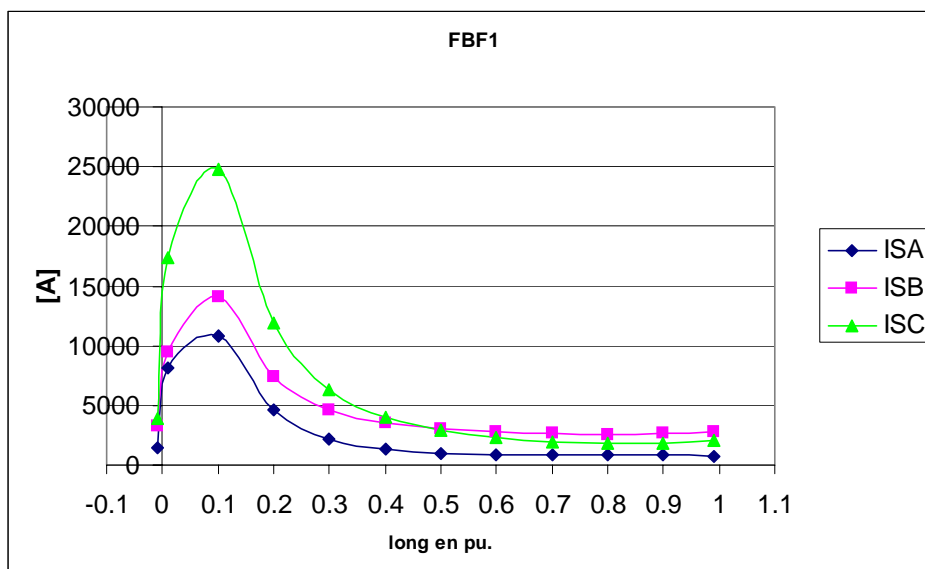


Fig. 2: Corriente por el ISL ante fallas bifásicas en la línea con compensación serie, cada 10% de longitud de la línea desde el capacitor serie.

Se aprecia en este caso que en una de las fases la corriente alcanza 25000 A para una falla ubicada en el 10% de la longitud de la línea a partir del extremo del capacitor. Este máximo corresponde a la resonancia serie entre el capacitor y la inductancia equivalente de todo el sistema (Fig. 1 c).

Siendo el valor de disparo del ISL 8000 A eficaces, se aprecia que fallas ubicadas entre el 30% y el 100% de la longitud de la línea a partir del capacitor, alcanzaran valores menores a 8000 A y, por lo tanto, no se producirá el disparo del ISL. Pero para fallas ubicadas entre 0% y 30%, existe la posibilidad de que pueda dispararse.

El primer punto calculado (ubicado en -0), corresponde a un cortocircuito en el extremo del capacitor del lado opuesto a la línea (barra ChCh en la Fig. 1b) y resulta equivalente al mayor valor que se obtendría en la corriente por el ISL si el capacitor de compensación fuese cortocircuitado. Para este caso se ve que si se produjese instantáneamente el cortocircuito del capacitor no existiría posibilidad de disparo del ISL.

3 ANÁLISIS DINÁMICO

Se simuló con un programa de transitorios electromagnéticos (ATP), el circuito trifásico simplificado, de la Fig. 1b, considerando las líneas con el modelo de parámetros distribuidos y los transformadores con sus grupos de conexión correspondientes y se calculó la corriente por el ISL.

La corriente temporal en el ISL será la que realmente determine la condición de su actuación, de hecho el ISL actúa por cambio en la corriente instantánea en un intervalo de 3 a 5 ms. Esta condición se corresponde, si la corriente es sinusoidal a una determinada amplitud. En particular una corriente sinusoidal de 8 kA de valor eficaz (11.3 kA pico) sería el valor para el cual actuaría el ISL.

En la Fig. 3 se presentan los casos analizados para una falla en la línea Choele Choele – Piedra del Águila ubicada a una distancia del 10% de Choele Choele. Se consideraron tres variantes, la primera representando el efecto de los descargadores sobre los capacitores, la que se interpreta como la verdadera curva de corriente sobre el ISL (curva roja de Fig. 3), la segunda corresponde al caso sin descargadores y que no se cortocircuitan los capacitores (curva verde de Fig. 3) y la tercera el caso en que se cortocircuitan los capacitores al comenzar la falla (curva azul de Fig. 3).

Cuando los capacitores quedan conectados (curva verde de Fig. 3) la corriente comienza a crecer con una envolvente característica de los parámetros del sistema y tiende al valor de estado estacionario mostrado en la Fig. 2 (25 kA eficaces).

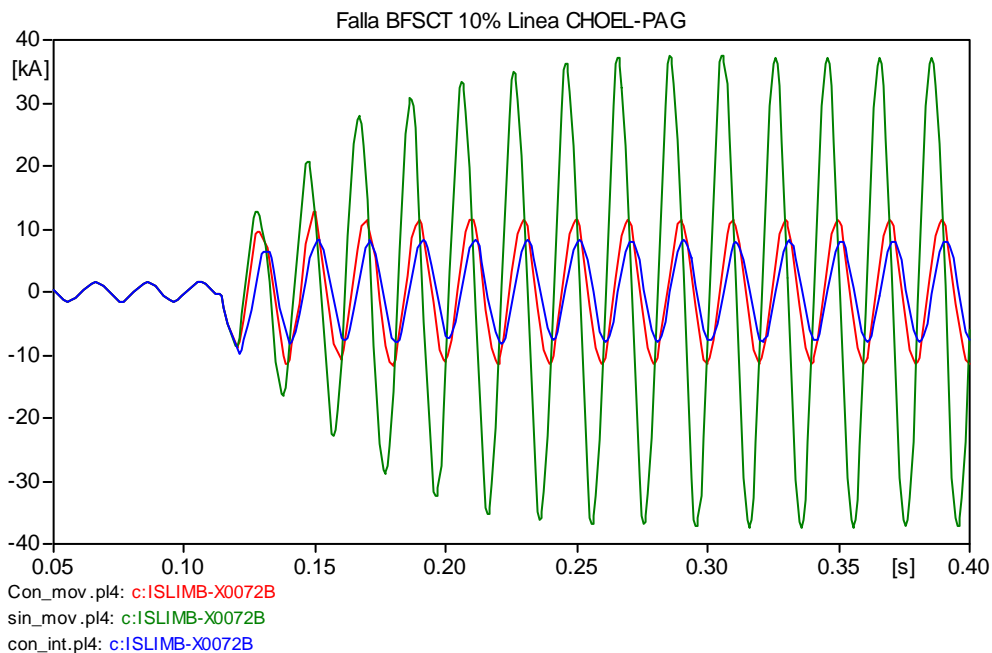


Fig. 3: Corriente por el ISL ante falla bifásica al 10% de longitud del extremo del capacitor de una la línea con compensación serie.

La curva azul de Fig. 3 corresponde al caso en que se cortocircuita el capacitor de la rama en falla junto con la aplicación de la falla. El valor de estado estacionario final será levemente menor al calculado en forma estática, que se presenta a la izquierda del cero en la Fig. 2 (cortocircuito en ChCh).

La curva roja de la Fig. 3, corresponde al caso en que se consideran los descargadores en paralelo con los capacitores serie, este caso es el que se considera mas cercano al real. Se aprecia que siempre resulta mayor que el caso con los capacitores cortocircuitados (curva azul) y menor que el caso con los capacitores libres (curva verde), y en particular de su valor de estado estacionario.

Esta característica es la que permite analizar la posibilidad de actuación del ISL, según como sean los valores de estado estacionario de corriente de cortocircuito con y sin cortocircuito de capacitores en relación al valor de una corriente sinusoidal que provocaría el disparo (8 kA eficaces)

Si la falla se produce en otra ubicación, no se estará en la condición de resonancia y por lo tanto la frecuencia de la componente transitoria será algo distinta que aquella de estado estacionario. La composición de ambas componentes con frecuencias levemente distintas da origen a una modulación de amplitud o “batido” en la señal temporal, ver Fig. 4.

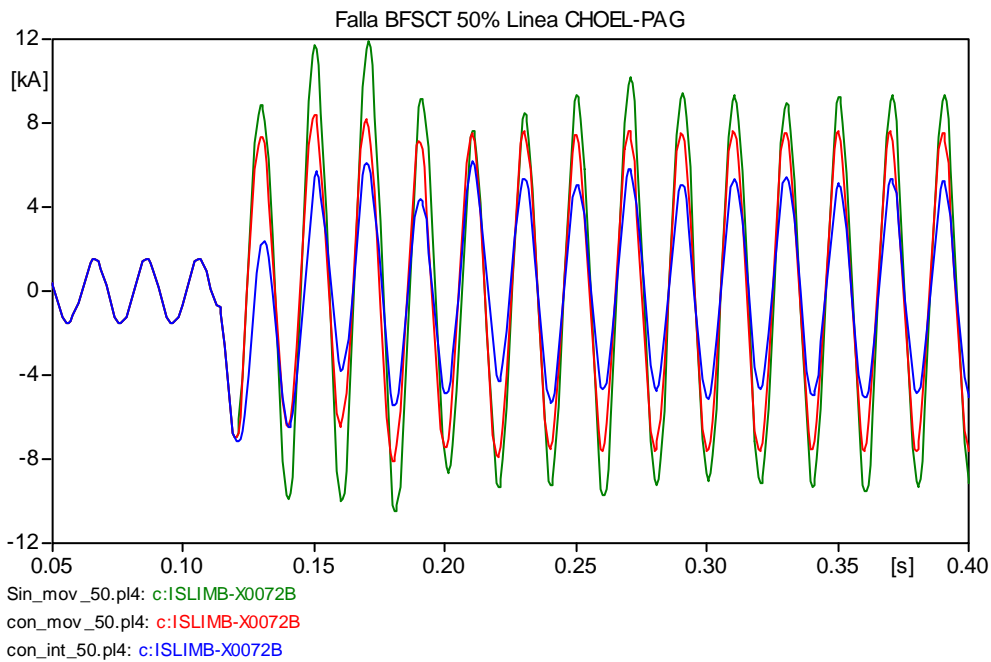


Fig. 4: Corriente por el ISL ante falla bifásica al 50% de longitud del extremo del capacitor de una la línea con compensación serie.

Como se aprecia en la Fig. 4, la curva real (roja) se mantiene entre las dos curvas correspondientes a casos con y sin cortocircuitar los capacitores (azul y verde respectivamente). También siguen siendo válidas las consideraciones respecto a los valores de estado estacionario y la curva real.

4 CASOS ANALIZADOS

Para distintos escenarios de funcionamiento se realizaron cálculos de corriente de cortocircuito para fallas bifásicas y monofásicas ubicadas cada 10% de la longitud de cada una de 4 líneas con compensación serie. Las fallas monofásicas se realizaron en tres escenarios distintos, mientras que las bifásicas en once escenarios.

Como resumen de ellos se encuentra que:

- Sin considerar el cortocircuito de los capacitores, las fallas monofásicas que provocan en el ISL una corriente de estado estacionario mayor al valor de disparo, corresponden a ubicaciones entre 0% y 10% de la longitud en las cuatro líneas con compensación. Si se cortocircuita el capacitor de compensación, para todos los casos la corriente en el ISL resulta inferior a la corriente de disparo.
- Sin considerar el cortocircuito de los capacitores, las fallas bifásicas que provocan en el ISL una corriente de estado estacionario mayor al valor de disparo, corresponden a ubicaciones entre 0% y 28% de la longitud para tres de las cuatro líneas con compensación y entre 0% y 38% para la cuarta. Si se cortocircuita el capacitor de compensación, para todos los casos la corriente en el ISL, resulta inferior a la corriente de disparo.

Por lo tanto para fallas monofásicas y bifásicas no existe la certeza que se produzca el disparo del ISL (valores con cortocircuito de capacitores menores al de disparo), pero si existe la probabilidad de actuación (valores sin cortocircuito de capacitores mayores al de disparo).

Dada la probabilidad de falla de líneas de 500 KV de 0.8 veces/año cada 100 km [1] y considerando que de estas fallas 2/3 son monofásicas y 1/3 bifásicas, se puede calcular la probabilidad de que se produzcan fallas en cada una de las cuatro líneas compensadas que puedan disparar el ISL. En la Tabla I se indican los valores de probabilidad resultantes.

Tabla I: Resumen de resultados

Línea	Longitud [km]	Bifásica [%Long]	Prob. Bif. 1/3 [v/año]	Monofásica [%Long]	Prob. Monof. 2/3 [v/año]
ChCh-Piedra	387	0.28	0.289	0.1	0.206
ChCh-Chocón	270	0.38	0.274	0.1	0.144
2 x ChCh-BB	345	0.28	0.515	0.1	0.368
total			1.078		0.718

Se espera que se produzcan como máximo 1.078 disparos del ISL por año por fallas bifásicas lejanas y 0.718 disparos por año por fallas monofásicas lejanas, es decir que se esperan como máximo de 1.8 disparos espurios del ISL por año, debido a fallas lejanas.

5 CONCLUSIONES

Se utiliza una herramienta de cálculo de estado estacionario, como lo es el cálculo de cortocircuito, para estimar las condiciones de actuación espuria de un ISL instalado en una planta industrial.

El ISL está ajustado en un valor de corriente presunta de aproximadamente 8 kA eficaces para proteger al sistema de fallas cercanas, y actualmente con la Interconexión SADI-SIP, ante fallas lejanas geográficamente se producen corrientes eficaces muy superiores a este valor.

Con simulaciones dinámicas, se realiza una interpretación de las condiciones reales en que se produce la actuación del ISL, en relación a los valores de corrientes de cortocircuito de estado estacionario calculados.

Considerando muchos escenarios del sistema y distribución de fallas, se establecen zonas de ubicación de fallas que pueden producir la actuación del ISL.

De acuerdo la probabilidad de fallas en el SADI, se estima que se producirán como máximo en el orden de 1.8 disparos espurios del ISL por año, debido a fallas lejanas.

6 REFERENCIAS

[1] Guía de Referencia 2007-2014. Transener.