

Inrush-Limiter T1™

변압기 여자돌입전류 억제 장치

변압기 여자돌입전류 억제를 위한 최적의 솔루션

Inrush-Limiter T1 은 변압기 여자돌입전류 현상을 사실상 소멸시킬 수 있습니다.

- 3극 동시 투입 제어 방식 (TPSC: Three-Pole Simultaneous Switch Control) 에 기반한 변압기 돌입전류 억제 기술은 오랜 기간 동안 미해결 과제로 인식되어 왔습니다.
- Kodensya는 변압기 여자돌입전류 현상을 현저히 억제할 수 있는 새로운 TPSC 기술을 독자적으로 확립하였습니다. 즉, **Inrush-Limiter T1**을 적용함으로써 여자돌입전류를 변압기의 정격전류 이내로 제한할 수 있으며, 전압 강하 또한 2~3% 이내로 억제할 수 있습니다.
- 본 방식은 변압기의 구조 형식, 3상일괄조작 또는 각상독립조작 방식의 차단기, 변압기 외부 회로 구성, 설치 조건에 관계없이 적용이 가능합니다.



Inrush-Limiter T1

- 지난 5년간 일본 내 다양한 유형의 발전소 및 변전소에 새로운 TPSC 기술을 적용한 **Inrush-Limiter T1** 이 100대 이상 설치되었으며, 상업 운전 경험을 통해 우수한 전류 억제 성능이 충분히 입증되었습니다.
- 본 새로운 TPSC 기술과 **Inrush-Limiter T1**의 상업적 운전 실적은 오랫동안 해결되지 못했던 과제를 해결하는 획기적인 솔루션을 제공합니다.

적용 시스템 조건의 무제한성

Inrush-Limiter T1은 다음과 같은 모든 전력 시스템 및 변전소 조건에 적용 가능합니다.

- ✓ 모든 전력 계통 조건 (정격 전압, 계통 구성, 단락비 등)
- ✓ 모든 변전소 (변전소 유형, kV/MVA 규모, 단선 결선도 등)
- ✓ 모든 변압기 (정격, 권선 결선 방식, 철심 특성 등)
- ✓ 모든 차단기 (GCB / ACB / OCB / VCB, UHV / EHV / MV / LV, 3상일괄조작 / 각상독립조작 방식의 차단기)
- ✓ 모든 부하 조건 (중부하 / 경부하, 불평형, 고조파 등)

Inrush-Limiter T1 상업 운전 실적

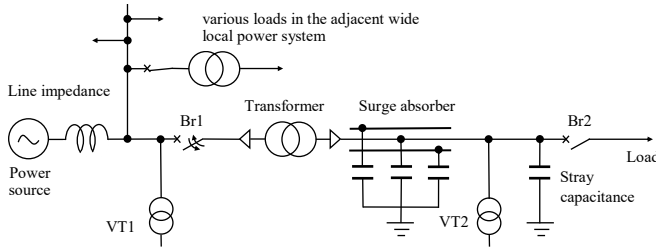
설치 실적 요약 (2013~2024): 총 228대

고객 구분	VCB	GCB	OCB	ACB	Un-known	합계
공장	30	29		2	12	73
풍력 발전소	15	7				22
태양광 발전소	11	16				27
바이오매스 발전소	7	7			1	15
스마트 그리드 커뮤니티	2					2
수력 발전소	9	1			2	12
전력회사 변전소	8	15	3			26
공공시설	5					5
철도회사 변전소	1	26				27
선박				2	4	6
해외	1	2			6	9
이동형 장치적용		1			3	4
합계	89	104	3	4	28	228

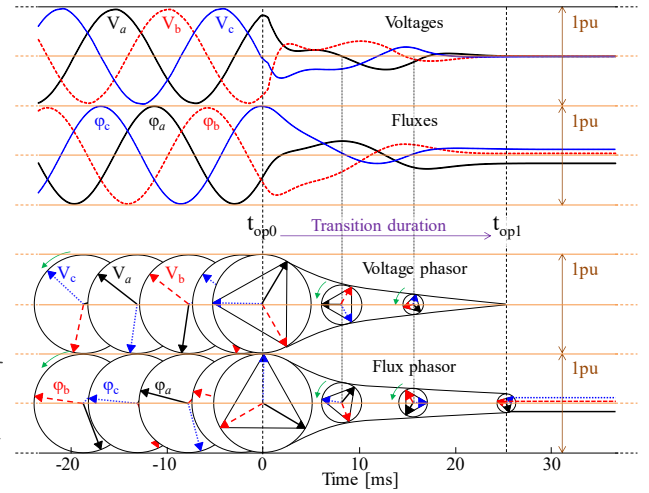
※ 참고: CIGRE 워킹그룹 A3.35(2019, 지난 10년간 차단기 제어 방식 조사)에서는 TPSC 방식의 유일한 상업 적용 사례로 **Inrush-Limiter T1**을 소개하였으며, IPSC(각 극 독립 제어) 방식은 5건의 사례로 소개되었습니다.

Inrush-Limiter T1

무부하 변압기 차단 직후 발생하는 과도 현상 (잔류자속의 실제 모습)



- 3상 변압기 회로에는 저압 권선에 연결된 정전용량 C가 반드시 존재하며, 이는 케이블의 분산 정전용량, 개방 단자, 서지 흡수기 등에 의해 형성됩니다. 따라서 변압기 저압측 차단기가 개방된 상태라 하더라도 루프 회로는 항상 존재합니다.
- 고압측 차단기에 의해 변압기가 차단될 경우, 저압측 루프 회로로 인해 과도 현상이 불가피하게 발생합니다.
- 이 과도 현상은 일정 시간 ΔT 동안 지속되며, 전압(V_a, V_b, V_c)과 전류(I_a, I_b, I_c)가 0이 되고, 자속($\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c$)이 동시에 일정 값으로 수렴하면서 종료됩니다. 이때 ΔT 종료 시점의 고정된 자속이 실제 잔류자속($\varphi_{ra}, \varphi_{rb}, \varphi_{rc}$)이며, 이는 거의 3상 평형 상태를 이룹니다.



The voltages (V_a, V_b, V_c) and the transient fluxes ($\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c$) measured at Kamishiiba Hydro-station (Tr: 220/66/11kV 60MVA)

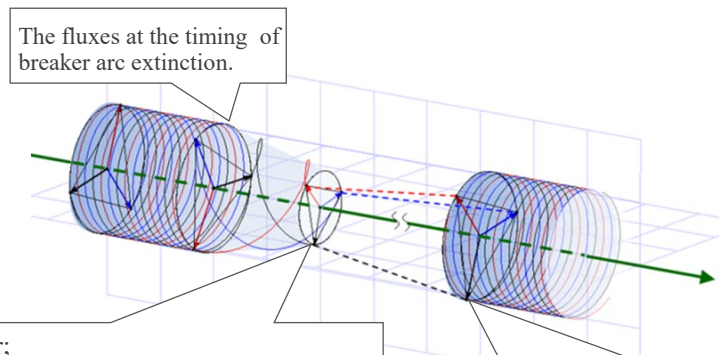
돌입전류 억제 원리

단계 1: 변압기 차단 시 잔류자속의 정확한 측정 및 기록

차단기 개방 동작에 의해 발생하는 3상 잔류자속($\varphi_{ra}, \varphi_{rb}, \varphi_{rc}$)을 3상 삼각 페이지로 정확히 측정·기록합니다. 잔류자속 삼각 페이지의 크기 축소율과 위상 각도는 우연적으로 변화합니다.

단계 2: 예상 자속 페이지와 잔류자속 페이지의 동기 투입 제어

전원측 3상 자속 페이지($\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c$; 전압보다 90° 지연)가 기록된 잔류자속 삼각 페이지($\varphi_{ra}, \varphi_{rb}, \varphi_{rc}$)와 동상이 되도록 차단기 투입 위상 각도를 제어합니다.



The residual Flux phasor;
This is calculated by integration of the measured voltage and is memorized by Inrush-Limiter T1

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{ra} &= \int_{t_{res}}^{t_{res}} v_a(t) dt \\ \varphi_{rb} &= \int_{t_{res}}^{t_{res}} v_b(t) dt \\ \varphi_{rc} &= \int_{t_{res}}^{t_{res}} v_c(t) dt \end{aligned} \right\} \varphi_{res} = \sqrt{\frac{2}{3}(\varphi_{ra}^2 + \varphi_{rb}^2 + \varphi_{rc}^2)}$$

this is the flux values when $v_a(t), v_b(t), v_c(t)$ becomes zero simultaneously.

The prospective closing flux phasor;
This is produced in the Inrush-Limiter T1 as the equilateral triangular phasor flux that is 90° degree delayed to the source voltages. Then, the closing angular timing θ_{close} is selected so that the closing angular timing of $\varphi_{close\ abc}$ and of the $\varphi_{res\ abc}$ become almost in-phase for each other.

상업 운전 시험 결과

Inrush-Limiter T1이 설치된 모든 변전소에서 돌입전류 현상은 실제로 완전히 소멸되었습니다.

즉, 장치 투입 시 돌입전류는 변압기 정격전류 이내로 억제되었고, 전압 강하는 최대 3% 이내였습니다.

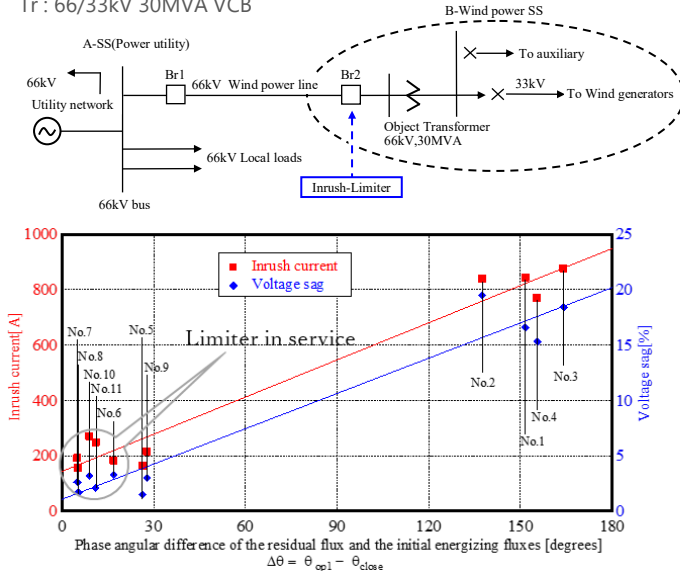
반면, 장치 미투입 시에는 돌입전류가 정격의 3~6배, 전압 강하는 최대 15~20%에 달했습니다.

기록된 돌입전류(A) 및 전압강하(%)의 대표 사례

Wind-power plant:

Kaminokuni Wind-power ss (J-Power)

Tr : 66/33kV 30MVA VCB



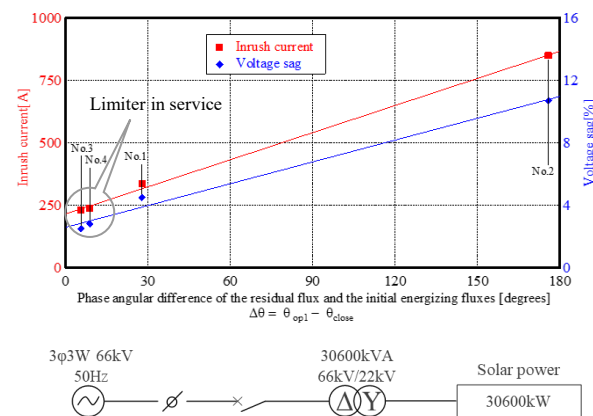
- Inrush-Limiter T1이 투입된 상태에서는 변압기 돌입전류 현상이 매년 실제로 완전히 소멸되었습니다. 즉, 돌입전류 Irush는 변압기 정격전류 이내로 억제되었고, 전압 강하 ΔV 는 최대 1.7%에 불과하였습니다. 반면, Inrush-Limiter T1이 미투입된 상태에서는 우연적으로 Irush가 정격전류의 3~4배(pu), 전압 강하 ΔV 가 10~20%까지 발생하였습니다.

- 풍력 발전 설비에서는 무풍 조건에서 철손(core loss)을 최소화하기 위해, 변압기의 투입·차단(on/off) 스위칭 운전이 일상적으로 수행됩니다.

- 풍력 타워 측 케이블의 분산 정전용량 C는 매우 크며, 병렬로 접속되는 풍력 터빈 발전기(W-TG) 피더 수가 수시로 변경되기 때문에 그 값이 항상 크게 변동합니다. 이로 인해 차단기 트립 직후 발생하는 과도 현상의 지속 시간은 일반적으로 길고, 또한 불규칙하게 변화합니다. 이러한 조건하에서도 Inrush-Limiter T1은 6년 이상 안정적으로 성공적인 운전 실적을 유지하고 있습니다.

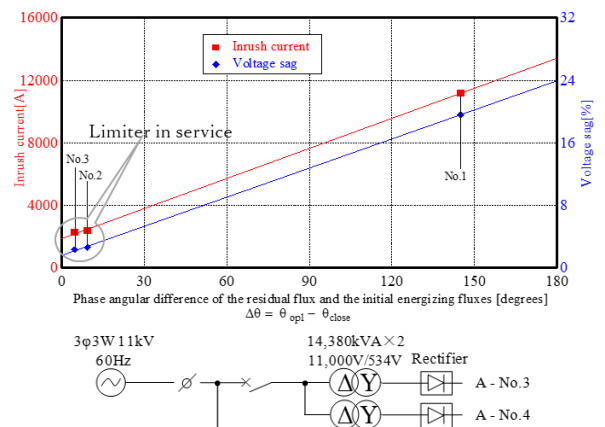
Photovoltaic Power Stationz:

Kyocera Com Company , FUTTU Mega-Solar Substation



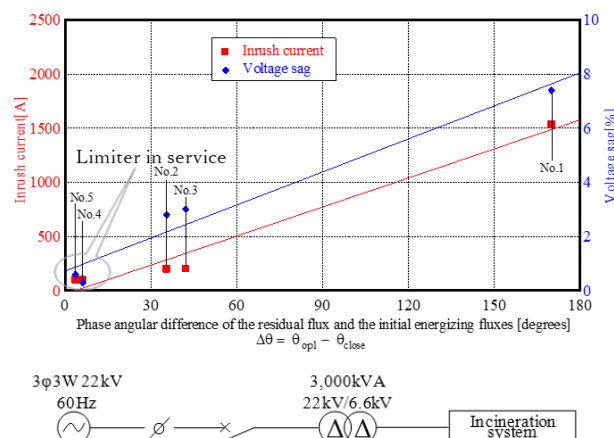
Factory (Extra high-voltage substation):

Asahi Glass , Chiba Factory A-No.3,4



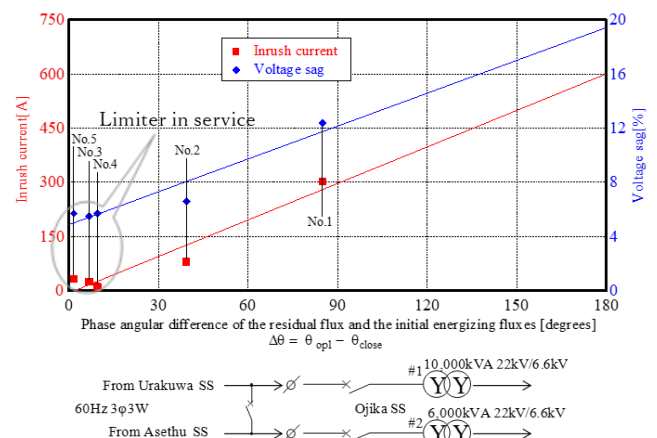
Public Facility (Incineration system):

SHIMONOSEKI-City , Incineration Substation No.2



Power Company's Substation:

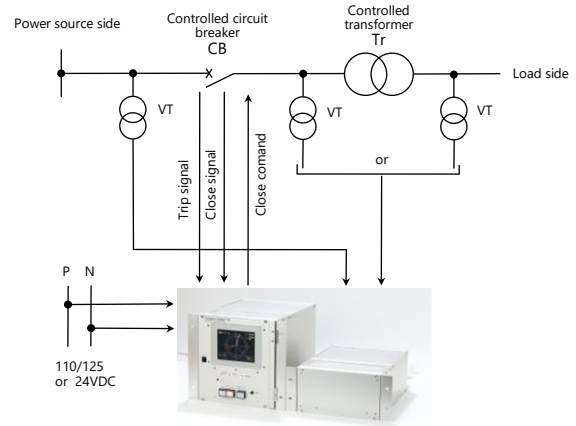
Kyushu Electrical Power company, Ojika-substationzNo.1



인터페이스

필요 입력 신호

- 전원측 3상 VT 신호: (V_a, V_b, V_c) 또는 (V_{ab}, V_{bc}, V_{ca})
- 변압기측 VT 신호: (V_a, V_b, V_c) 또는 (V_{ab}, V_{bc}, V_{ca})
(변압기 고압측, 중압측 또는 저압측 중 하나)
- 차단기 보조 접점 신호 및 DC 제어 전원 (DC 110V 또는 125V)
- 모든 입력 신호는 인접 제어반에서 제공 가능
- CT 신호는 불필요함 (실질적으로 유지보수 불요)



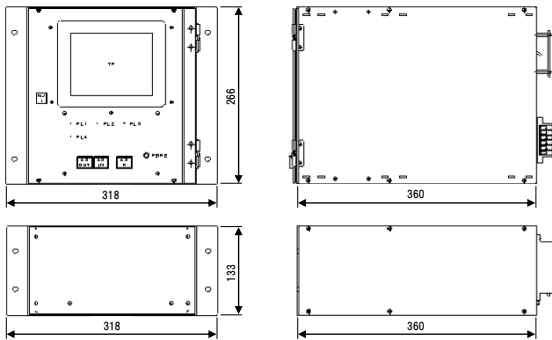
지원 소프트웨어

Inrush-Limiter T1 운전 지원 소프트웨어가 제공되며, 이를 통해 다음 항목을 표시할 수 있습니다.

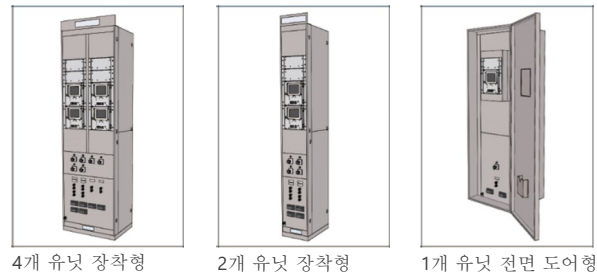
변압기 투입/차단 이력 히스토그램 (잔류자속 측정값 (pu), 전압강하(%))
차단기 투입 소요 시간(ms) 측정값.



사양



일반적인 패널 디자인



외형 및 구조	제어 유닛	I/O 유닛
장착 방식	랙 마운트 또는 패널 마운트	
외형 치수(W×H×D, mm)	318 × 266 × 360	318 × 133 × 360
표면 처리	실버 색상 양극산화 알루미늄	
중량 [kg]	9	7
전원	I/O 유닛에서 공급	110 VDC (90-120 V), 200 W, 또는 125 VDC (100-135 V), 200W
CPU	CPU : Atom E3845 1.91GHz 캐린더 백업 배터리 수명: 10년	-
샘플링 속도	60Hz 계통: 7,200Hz 50Hz 계통: 6,000Hz	-
통신	Ethernet 100Base-T 이상 (유지보수용 PC 연결)	-
냉각 방식	자연 냉각	
사용 환경	온도: -20 ~ 60°C (결빙 불가), 습도: 20 ~ 90%RH (결로 불가)	
설치 환경 주의 사항	• 유해 가스, 염분 가스, 폭발성 가스, • 물방울, 수증기, 과도한 분진, • 과도한 진동 또는 충격, • 방열을 방해하는 조건은 피할 것	
내전압	2000VAC, 1분 (24VDC 회로 제외)	

※ 사양은 제품 개선을 위해 예고 없이 변경될 수 있습니다.

